

le naturaliste canadien

Volume 143, numéro 1
Hiver 2019

SOCIÉTÉ PROVANCHER

Revue de diffusion des connaissances en sciences naturelles et en environnement

NUMÉRO SPÉCIAL

Colloque sur l'écologie routière
et l'adaptation aux changements climatiques :
de la recherche aux actions concrètes



Au sommaire

- **CONNECTIVITÉ ET ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES**
- **ÉCOLOGIE ROUTIÈRE : PRIORITÉS POUR LE QUÉBEC**
- **LES ROUTES ET LA FAUNE**
- **CONNECTIVITÉ AQUATIQUE ET GESTION DES EAUX DE SURFACE**
- **IMPLICATION DES MUNICIPALITÉS ET DES COMMUNAUTÉS**

À PROPOS DU COLLOQUE

Message des comités de direction et de programmation

Mélanie Lelièvre

Synthèse de la session plénière et des résultats du sondage

Le comité de direction

CONNECTIVITÉ ET ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La connectivité au-delà des frontières: Résolution 40-3 concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité

En 2016, les gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et les premiers ministres de l'Est du Canada ont adopté la résolution 40-3, qui reconnaît l'importance de la connectivité écologique pour la capacité d'adaptation et la résilience des écosystèmes, de la biodiversité et des communautés humaines face aux changements climatiques.

Danielle St-Pierre, Antoine Nappi, Sonia de Bellefeuille,
Andrée-Anne Lévesque Aubé et Sylvie Martin

L'initiative *Staying Connected*: pour reconnecter la nature et les humains par-delà les frontières

Depuis près de 10 ans, l'initiative *Staying Connected* travaille à préserver la connectivité dans les Appalaches. Son approche multisectorielle réunit de nombreux partenaires pour protéger les corridors fauniques et rendre les routes plus sécuritaires pour la faune et les usagers.

Louise Gratton et Jessica Levine

Les changements climatiques attendus et leurs impacts potentiels sur l'écologie routière au Québec

Cet article présente une brève synthèse de la littérature disponible sur les vulnérabilités et les multiples impacts potentiels des changements climatiques au Québec, ainsi que sur les mesures d'adaptation possibles pour gérer adéquatement les routes et les écosystèmes environnants.

Valérie Bourduas Crouhen, Robert Siron,
Hélène Côté, Travis Logan et Isabelle Charron

Le rôle des infrastructures naturelles pour la gestion des eaux de ruissellement et des crues dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques

Quatre expériences d'aménagement d'infrastructures naturelles illustrent les nombreux avantages économiques, écologiques et sociaux découlant d'une approche multifonctionnelle et de l'intégration d'approches de gouvernance ascendante.

Caroline Simard, Chloé L'Ecuyer-Sauvageau,
Jean-François Bissonnette et Jérôme Dupras

ÉCOLOGIE ROUTIÈRE : PRIORITÉS POUR LE QUÉBEC

Identification et protection des corridors naturels de part et d'autre de l'autoroute 10 (Estrie et Montérégie Est) et amélioration de sa perméabilité faunique: premiers résultats

Corridor appalachien mène un projet de maintien et de restauration de la connectivité écologique de part et d'autre d'un axe routier qui fragmente le paysage et les milieux naturels des Appalaches du sud du Québec. Une approche multidisciplinaire et des partenariats solides laissent déjà entrevoir des résultats tangibles et des solutions novatrices.

Caroline Daguet et Mélanie Lelièvre

Détermination des facteurs spatiotemporels expliquant le risque de collision routière avec des cervidés sur l'autoroute Claude-Bécharde (85) au Témiscouata

Les données d'accidents du MTQ et de la SAAQ ont servi à identifier les facteurs expliquant la distribution des collisions routières avec l'orignal et le cerf de Virginie sur l'autoroute Claude-Bécharde (85). Les résultats démontrent que les collisions impliquant ces cervidés sont largement modulées par les patrons de déplacements des deux espèces.

Jérôme Laliberté et Martin-Hugues St-Laurent

Impacts de l'ajout de passages fauniques et du prolongement de clôtures anticervidés sur la sécurité routière de la route 138 à Petite-Rivière-Saint-François

L'aménagement d'un passage inférieur pour la grande faune peut être compromis lorsque l'obstacle à franchir possède un faible dégagement vertical. Or, il s'avère que l'orignal peut emprunter des passages de dimensions modestes aménagés sous un axe routier important.

Martin Lafrance et Éric Alain

ROUTES ET GRANDE FAUNE

Conception et construction des aménagements relatifs aux cerfs de Virginie le long de l'autoroute Robert-Cliche (A-73) au Québec

Les clôtures d'exclusion pour les cerfs de Virginie le long de l'autoroute 73 sont parmi les plus anciennes au Québec. Les auteurs partagent le savoir-faire acquis lors de l'aménagement de plus de 40 km de clôtures et de structures afin de réduire l'impact de la route sur le cerf et son habitat.

Pierre-Michel Vallée, Jacques Bélanger et Jacques Fortin

Élargissement de l'autoroute 69: la route sous le premier écopont de l'Ontario

Cinq ans après la construction du premier passage faunique supérieur en Ontario, cet article décrit comment la faune du nord de l'Ontario interagit avec le nouvel écopont, et comment la sécurité routière et la connectivité des habitats se sont améliorées après les travaux d'élargissement d'une autoroute.

Andrew Healy

ROUTES ET PETITE ET MOYENNE FAUNE

Clôtures et passages fauniques pour les petits et moyens mammifères le long de la route 175 au Québec: quelle est leur efficacité?

69

Des recherches récentes ont examiné l'efficacité des passages pour la petite et la moyenne faune et de courtes sections de clôtures pour augmenter la connectivité des habitats et réduire la mortalité routière le long de l'autoroute 175. Les résultats mènent à des recommandations qui orienteront de prochaines mesures de mitigation.

Jochen A.G. Jaeger, Ariel G. Spanowicz, Jeff Bowman et Anthony P. Clevenger

Comparaison du passage de tortues et de serpents dans des ponceaux de drainage le long de deux autoroutes en Amérique du Nord

81

Certains ponceaux et autres infrastructures routières sont utilisés par la faune pour traverser des routes, surtout lorsque des clôtures guident les animaux vers leur ouverture. Des résultats montrent que les tortues et les serpents traversent les ponceaux, mais dans des proportions différentes qui pourraient résulter de leurs préférences spécifiques.

Kari E. Gunson

Passage à tortues de la route 245 à Bolton-Est (Estrie): un bel exemple de partenariat

85

Une étude de Corridor appalachien sur la mortalité routière des tortues a donné le coup d'envoi à un partenariat avec les différents ministères et la municipalité locale pour construire des aménagements favorisant le passage sécuritaire des tortues sur un tronçon de route accidentogène.

Clément Robidoux

CONNECTIVITÉ AQUATIQUE ET GESTION DES EAUX DE SURFACE

Adapter les infrastructures afin de réduire les risques pour les personnes et d'améliorer la connectivité pour les poissons et la faune

92

Au Massachusetts, des normes de conception de traverses route-cours d'eau ont été établies pour restaurer la connectivité de l'habitat du poisson et de la faune et assurer une résilience aux inondations. L'intégration de solutions rentables, basées sur la nature, pour l'adaptation aux changements climatiques, répond aux objectifs environnementaux et sociaux.

Alison A. Bowden et Sara E. Burns

L'aménagement multifonctionnel des bassins de rétention en contexte autoroutier: une optimisation des services écologiques

100

Les bassins de rétention d'eaux pluviales qui accompagnent le développement des infrastructures urbaines offrent un potentiel environnemental souvent inexploité. L'exemple du réaménagement de l'échangeur des autoroutes Félix-Leclerc et Laurentienne, à Québec, montre comment ces aménagements peuvent rendre de multiples services écologiques.

Jérôme Guay et Martin Lafrance

IMPLICATION DES MUNICIPALITÉS ET DES COMMUNAUTÉS

Les corridors écologiques: un moyen d'adaptation aux changements climatiques

107

Conservation de la nature Canada lance une large concertation visant à améliorer la cohérence et l'efficacité de la stratégie de conservation de la connectivité dans le sud du Québec. Son approche intégrée et multisectorielle guide les activités et encourage l'implication de tous par le partage des connaissances et des expertises.

Kateri Monticone

L'aménagement du territoire et des corridors fauniques: une approche municipale

113

La municipalité d'Austin, entre Montréal et Sherbrooke, jouit d'un environnement naturel exceptionnel, fort prisé par les villégiateurs. En 2016, la municipalité a révisé son plan d'urbanisme et adopté plusieurs mesures afin de protéger le milieu naturel et de favoriser la connectivité faunique.

Lisette Maillé et Stephen Nicholson

La science citoyenne au service de la conservation: deux programmes dans la région transfrontalière des montagnes Vertes dans la chaîne des Appalaches

118

Les programmes de la Fiducie foncière de la vallée Ruiter et de Cold Hollow to Canada engagent des citoyens, professionnels et amateurs, dans un « mieux vivre ensemble » avec et dans la nature dans la région des montagnes Vertes.

LES LIVRES

128

VIE DE LA SOCIÉTÉ

129

En page couverture: Passage aménagé pour la faune sous l'autoroute Robert-Cliche (A-73) au sein d'une aire de confinement du cerf de Virginie à Saint-Joseph-de-Beauce, Québec, Canada.

Photo: Photothèque MTQ.

Corridor appalachien remercie les partenaires financiers du colloque, les généreux bienfaiteurs de la Société Provancher et les annonceurs qui ont rendu possible la réalisation de ce numéro spécial du *Naturaliste canadien*.

Il tient aussi à remercier toute l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leur soutien, leur expertise et leur formidable collaboration dans l'édition de ce numéro.

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 Desmarts • 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 Pilotte • 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 Senécal • 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

Traduction vers le français

Caroline Daguet

Révision linguistique et technique

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

Correction des épreuves

Caroline Daguet
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

Message des comités de direction et de programmation

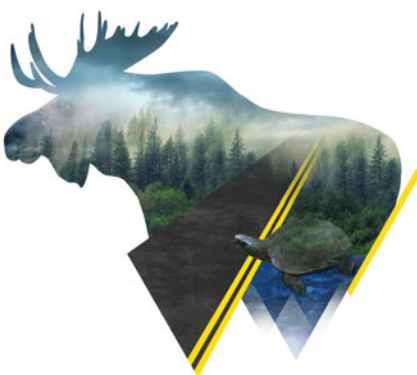
Mélanie Lelièvre, pour les comités de direction et de programmation

L'écologie routière¹ est une science en plein essor qui étudie les interactions entre les routes et les écosystèmes qu'elles traversent, dans le but d'éviter ou d'atténuer les impacts sur ces derniers. Cette science, qui se situe à la confluence de plusieurs disciplines, permet de générer des solutions novatrices aux défis que posent les infrastructures routières, notamment en ce qui concerne la réduction des accidents routiers impliquant la faune, le maintien de la connectivité écologique et l'adaptation aux changements climatiques.

Un premier colloque sur l'écologie routière, intitulé *Routes et faune terrestre*, a eu lieu au Québec en mai 2011. Au printemps 2012, *Le Naturaliste canadien* y avait alors consacré un numéro spécial (La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada, 2012). Depuis, la discipline a beaucoup évolué et le besoin de faire le point sur les plus récentes connaissances dans le domaine s'est imposé. À l'ère où les défis sont plus criants que jamais en écologie (le plus récent rapport du Fonds mondial pour la nature nous le confirme [Warren et collab., 2018]), les changements climatiques placent l'humanité face à une crise sans précédent.

Dans ce contexte, Corridor appalachien a organisé à Québec, en octobre 2017, le *Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques*. À l'instar des partenariats qu'il avait pour objectif de provoquer, l'événement est né de l'étroite collaboration de plusieurs organismes œuvrant dans diverses sphères d'activités (ONG en conservation et en environnement, ministères, universités, etc.).

Ce colloque de grande envergure, traduit simultanément en anglais et en français, a fait connaître les plus récentes avancées réalisées au Québec et ailleurs dans le monde dans le domaine de l'écologie routière. Il a également favorisé le réseautage entre les



divers intervenants concernés provenant de multiples horizons, notamment des biologistes, des ingénieurs, des chargés de projets, des décideurs, des chercheurs, des étudiants, des analystes, des aménagistes, des géographes et d'autres spécialistes en environnement.

Le colloque a attiré plus de 220 participants qui ont assisté à 47 conférences couvrant une douzaine de thèmes. Les présentations ont permis de prendre conscience des grands pas franchis dans le domaine de l'écologie

routière au cours des dernières années, ainsi que des nombreux défis qui restent à relever.

En 2011, les principaux enjeux considérés par l'écologie routière concernaient surtout les impacts directs des routes sur la faune et la sécurité des automobilistes. Depuis, les préoccupations se sont étendues aux impacts des infrastructures routières sur les processus écologiques à plus grande échelle (connectivité) et aux effets cumulatifs possibles dans un monde en transformation (fragmentation et perte d'habitats, changements climatiques, etc.). Par ailleurs, il est devenu encore plus évident pour tous que la recherche de solutions aux problématiques liées à l'écologie routière nécessite la mise sur pied d'équipes pluridisciplinaires et la collaboration de l'ensemble des acteurs des différents paliers décisionnels, sans égard aux frontières.

La reconnaissance de ces enjeux plus globaux s'est notamment traduite, en 2016, par la signature d'une importante résolution internationale concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité (Résolution 40-3) par les gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et les premiers ministres de l'Est du Canada (CGNA/PMEC, 2016).

Par la mise à jour des connaissances et le réseautage qu'il a favorisés, nous estimons que le *Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques* aidera les diverses instances et organisations concernées par la mise en œuvre de la Résolution 40-3 et à la recherche de solutions concrètes et novatrices aux enjeux d'écologie routière. De concert avec la conservation des milieux naturels et un aménagement judicieux du territoire, la mise en place de ces solutions peut accroître la capacité de résilience des communautés humaines,

1. Selon Roedenbeck et collab. (2007) l'écologie routière est « l'étude de la manière dont les routes et la circulation affectent les animaux et les plantes, leur abondance, leur répartition, ainsi que les conditions de persistance à long terme de leurs populations ». Le biologiste allemand Heinz Ellenberg, spécialisé en écologie végétale, et ses collègues ont utilisé le terme « écologie routière » (Straßenökologie) pour la première fois il y a plus de 35 ans, soit dès 1981. En 2003, Richard T. T. Forman, écologiste paysagiste américain et ses collègues ont repris et traduit ce terme dans leur livre intitulé *Road Ecology: Science and Solutions*.

des écosystèmes et des infrastructures aux perturbations actuelles et futures liées au réchauffement global et à la perte mondiale de biodiversité (Berteaux et collab., 2014).

Ce numéro spécial du *Naturaliste canadien* aborde les grands thèmes présentés lors du Colloque, sous forme de 17 articles organisés par thèmes : le maintien de la connectivité des écosystèmes et l'adaptation aux changements climatiques, l'identification des priorités d'intervention pour l'adaptation des infrastructures routières au Québec, les routes et la faune terrestre, la connectivité aquatique et la gestion des eaux de surface, et enfin, l'implication des municipalités et des communautés dans la recherche de solutions aux enjeux liés à l'écologie routière.

En plus des formats classiques de présentations, les participants au colloque ont assisté à un souper-conférence stimulant en soirée d'ouverture, au cours duquel ils ont entendu parler du modèle français et européen (notamment la plate-forme de recherche et de financement ITTECOP) ainsi qu'à une activité de réseautage, chapeauté par le programme de connectivité de l'organisme transfrontalier « Deux Pays, Une Forêt ». Également au programme : une session plénière interactive en fin de colloque, ainsi qu'une visite terrain.

Nous tenons à remercier chaleureusement les auteurs, les pairs réviseurs, les rédacteurs *ad hoc* pour tout le travail investi dans la publication de ce numéro spécial. Soulignons le travail formidable de coordination de ce numéro spécial par Caroline Daguét de Corridor appalachien. Enfin, nous sommes très reconnaissants envers la rédactrice en chef du *Naturaliste canadien*, Denise Tousignant, ainsi qu'à toute son équipe de nous

avoir appuyés dans ce projet qui permettra de faire rayonner les retombées positives du colloque, au cours duquel l'importance de la communication et de la diffusion des connaissances scientifiques a été largement soulignée par les participants.

En espérant que vous apprécierez ce numéro spécial, je vous souhaite une bonne lecture!

Mélanie Lelièvre, Corridor appalachien
au nom des comités de direction
et de programmation du colloque

Références

- BERTEAUX, D., N. CASAJUS et S. DE BLOIS, 2014. Changements climatiques et biodiversité du Québec : vers un nouveau patrimoine naturel. Presses de l'Université du Québec, Québec, 170 p.
- CGNA/PMEC, 2016. Résolution 40-3 concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité. 40^e Conférence annuelle des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada, 29 août 2016, Boston, MA. Disponible en ligne à : <https://www.cap-cpma.ca/images/40-3%20Climate%20Change%20FR.pdf>. [Visité le 2018-03-19].
- LA SOCIÉTÉ PROVANCHER D'HISTOIRE NATURELLE DU CANADA, 2012. Le Naturaliste canadien — numéro spécial « Routes et faune terrestre : de la science aux solutions ». Le Naturaliste canadien, 136 (2), 108 p. Disponible en ligne à : <https://www.erudit.org/fr/revues/natcan/2012-v136-n2-natcan092/>.
- ROEDENBECK, I.A., L. FAHRIG, C.S. FINDLAY, J. HOULAHAN, J.A.G. JAEGER, N. KLAR, S. KRAMER-SCHADT et E.A. VAN DER GRIFT, 2007. The Rauschholzhausen-Agenda for Road Ecology. *Ecology and Society*, 12 (1) : 11. Disponible en ligne à : <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art11/>. [Visité le 2018-10-01].
- WARREN, R., J. PRICE, J. VANDERWAL, S. CORNELIUS et H. SOHL, 2018. The implications of the United Nations Paris Agreement on climate change for globally significant biodiversity areas. *Climatic Change*, 147 (3-4) : 395-409. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2158-6>.



Corridor appalachien

Les membres du comité organisateur (direction et programmation). De gauche à droite : Mandy Karch (Ontario Road Ecology Group), Martin Lafrance (ministère des Transports du Québec [MTQ]), Sonia de Bellefeuille (ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs [MFFP]), Caroline Daguét (Corridor appalachien), Jeremy Guth (Woodcock Foundation), Danielle St-Pierre (MFFP), Mélanie Lelièvre (Corridor appalachien), Marie-José Auclair (Corridor appalachien), Jochen Jaeger (Université Concordia), Jessica Levine (Staying Connected Initiative), Marie-Lou Coulombe (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC]), Johann Martin (MELCC) et Yves Bédard (Association des biologistes du Québec). En vignette : David Boudreault (MTQ) et Julie Boucher (MTQ).

Synthèse de la session plénière et des résultats du sondage sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques

Le comité de direction

À l'occasion du *Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques*, en complément aux présentations formelles, aux activités de réseautage et à la visite sur le terrain, les participants ont été appelés à répondre à un sondage (réalisé avant l'évènement) et à prendre part à une session plénière. Le présent article vise à synthétiser les principaux éléments qui sont ressortis de ces tribunes d'échange et à déterminer les suites à donner au colloque.

Le sondage, composé de 10 questions, avait pour objectif de cerner les grandes préoccupations des participants sur des thèmes relatifs à l'écologie routière et de recueillir leurs propositions sur les enjeux mis de l'avant. Il a bénéficié d'un excellent taux de réponse (57 % des participants). Les informations recueillies ont notamment permis d'alimenter la session plénière qui visait à susciter la discussion et à faire émerger des solutions concrètes autour d'une question centrale : comment faire progresser le Québec en matière d'écologie routière ? L'objectif des discussions était de convenir des suites à donner au colloque pour s'attaquer aux priorités définies et pour concrétiser les solutions proposées, notamment en tentant de définir la forme que pourraient prendre les futurs travaux (groupe de travail, forum, rencontres régulières, etc.).

Quatre panélistes ont participé à la session plénière : Louise Gratton, consultante en écologie et conservation; Yannick Autret, responsable du programme Infrastructures de transports terrestres, écosystèmes et paysages (ITTECOP)-France; Nathalie Drouin, directrice générale de KHEOPS, un consortium international de recherche sur la gouvernance des grands projets d'infrastructure; et Jochen Jaeger, professeur associé à l'Université Concordia à Montréal. Ces experts étaient invités à présenter brièvement leur point de vue sur les principaux thèmes abordés par le colloque, tout en s'inspirant des constats préliminaires qui en émanaient. Deux animateurs (Yves Bédard, de l'Association des biologistes du Québec, et André Champoux, de Corridor appalachien) étaient pour leur part responsables de diriger les interventions et d'animer la discussion en questionnant les participants sur 5 thèmes : 1) la connectivité et l'écologie routière, 2) la création d'une boîte à outils en écologie routière, 3) le développement d'un centre de ressources ou d'un registre de bonnes pratiques, 4) les partenariats et le financement, et 5) l'acceptabilité sociale des projets en écologie routière.

Les principaux constats que les participants au sondage et à la plénière ont fait ressortir sont les suivants.

Du retard à rattraper

Alors que l'Europe a créé de nombreuses structures pour faciliter le passage de la faune en contexte routier, l'Amérique du Nord en offre encore relativement peu. Même si le Québec a fait de grands pas dans le domaine de l'écologie routière ces dernières années, beaucoup reste encore à faire. Plusieurs participants ont souligné que le maintien et la restauration de la connectivité écologique, particulièrement en contexte routier, ne sont pas suffisamment pris en compte dans le processus de décision relatif à l'aménagement ou à la réfection de structures de transport et à l'aménagement du territoire. De nombreuses propositions permettant de pallier cette lacune ont été amenées par les intervenants, allant de la bonification de budgets consacrés au maintien de la connectivité à la mise en place de lois et de règlements spécifiques, en passant par une sensibilisation accrue des politiciens et la standardisation des protocoles d'identification des corridors naturels.

Des partenariats essentiels

Le colloque a permis de constater qu'il est de plus en plus courant de planifier des corridors visant à maintenir la connectivité écologique. Des initiatives, voire des mesures, sont mises en place pour faciliter le déplacement de la faune et favoriser la migration des espèces en réponse aux changements climatiques appréhendés. Les activités de science citoyenne et de participation des communautés dans le suivi des déplacements de la faune se multiplient. Les projets les plus porteurs sont fondés sur la collaboration de plusieurs intervenants (ministères, ONG de conservation, universités, municipalités, etc.) et pavent la voie à des partenariats puissants qui génèrent des retombées partagées sur le plan écologique et socioéconomique. L'importance de ces partenariats, tant pour commencer des projets que pour les mener à bien, a été soulignée à maintes reprises pendant le colloque. Les échanges ont aussi fait ressortir que la composante pluridisciplinaire de l'écologie routière impose la mise en place d'équipes multidisciplinaires, qui pourront développer une vision holistique des solutions à implanter et faire le lien entre la recherche et les plus récentes avancées mises en pratique.

De plus, puisque la connectivité des écosystèmes va au-delà des frontières, la nécessité a été soulignée de rassembler les acteurs dans des efforts qui traversent les juridictions, tant pour le partage des connaissances que pour les solutions de

financement. Le regroupement d'organismes sous la bannière SCI (Staying Connected Initiative¹) qui organisait une activité de réseautage dans le cadre du colloque s'inscrit d'ailleurs dans cette démarche.

L'aménagement du territoire au cœur des enjeux

Toujours sous l'angle des partenariats — et bien que le thème soit périphérique à l'enjeu de l'écologie routière et des changements climatiques — l'aménagement du territoire est ressorti comme un aspect central de la problématique dans le contexte du Québec méridional. Avec la tenure majoritairement privée des terres, le dialogue nécessite d'être renforcé entre les aménagistes, les urbanistes et tous ceux qui œuvrent d'une façon ou d'une autre au maintien de la connectivité des habitats. Des exemples inspirants (par exemple, celui de la municipalité d'Austin) confirment que cette ouverture existe au Québec. Les participants ont souligné le besoin d'une meilleure prise en compte, par les décideurs, des enjeux à grande échelle touchant à la fois l'aménagement du territoire, la conservation des milieux naturels et la connectivité.

Adaptation des infrastructures routières

À la question sur la façon de financer les infrastructures routières adaptées au maintien de la connectivité écologique et aux changements climatiques, que ce soit aux étapes de la conception, de la construction, de l'entretien ou du suivi de l'efficacité, de nombreux répondants ont répondu que l'essentiel de la responsabilité devait reposer sur les initiateurs des projets routiers. Cependant, les participants ont insisté sur l'importance de promouvoir les multiples avantages de ces projets (aspects fauniques, adaptation aux changements climatiques, maintien de la connectivité aquatique, etc.) afin de maximiser la mise en commun des ressources et les participations financières. Il a été suggéré que la mise sur pied par l'État québécois d'un fonds de démarrage pourrait jouer un rôle mobilisateur et favoriser la participation du gouvernement fédéral ainsi que celle des communautés et des investisseurs privés. Étant donné le lien étroit avec l'adaptation aux changements climatiques, certains ont également suggéré de mettre à profit des sources comme le Fonds vert du gouvernement du Québec ou des fonds de compensation en provenance du secteur privé.

Selon la directrice générale de KHEOPS, les modèles de gestion et des mécanismes décisionnels associés aux infrastructures de transport mériteraient d'être revus et améliorés. De fait, la majorité des recherches sur le sujet indique que ces modèles et mécanismes sont surtout centrés sur les enjeux financiers, les coûts et les échéanciers, et peu sensibles aux enjeux sociaux et aux effets de ces infrastructures sur les milieux de vie et l'environnement. Selon elle, la gestion, voire la performance des infrastructures d'aujourd'hui et de demain, devrait se mesurer à l'aide de nouveaux indicateurs, afin minimiser les impacts environnementaux en proposant des solutions de rechange, par exemple pour faciliter le

déplacement de la faune et s'adapter aux changements climatiques.

Partage de l'information

Au-delà du financement et des partenariats, la majorité des participants avaient à cœur la centralisation de l'information et la mise sur pied d'un centre de ressources en écologie routière. En effet, 82 % des répondants au sondage (13 % n'avaient pas d'opinion sur le sujet et 5 % étaient en désaccord) et plusieurs interventions à la plénière ont mis en lumière cette nécessité de centraliser l'information, possiblement dans un centre de ressources facilement accessible et par lequel une panoplie de données pourraient être partagées (plans de construction, guides techniques, protocoles standardisés, exemples de projets réalisés ailleurs et de résultats, comparaisons de dispositifs de détection des mouvements fauniques, types de suivis, etc.). Faciliter un tel partage d'information permettrait de contribuer au développement de l'expertise dans le domaine, d'accroître la qualité des projets et d'optimiser l'utilisation des ressources. À cet effet, à la suite du Colloque, la plateforme bilingue *Portail Routes et Faune*² a été mise en place en septembre 2018. Les différents professionnels impliqués sont invités à bonifier son contenu régulièrement.

Acceptabilité sociale des projets d'écologie routière

Une inquiétude partagée par plusieurs participants est que beaucoup de citoyens ne sont pas au fait des enjeux liés à l'écologie routière et pourraient remettre en question certains investissements. Le manque de connaissances au sein de la population pourrait en effet entraîner un manque d'acceptabilité sociale et freiner la mise en œuvre de projets essentiels. L'espace médiatique potentiellement occupé par des opposants à de tels investissements peut être suffisant pour nuire à l'avancement de certains projets. C'est pourquoi il importe de réfléchir aux aspects communicationnels dans tout projet d'écologie routière. En parallèle, il faut reconnaître que tout ce qui a trait aux passages fauniques a un énorme potentiel de visibilité et d'attraction médiatique, comme l'a illustré l'Ontario Road Ecology Group lors de sa conférence. Ces projets d'infrastructure possèdent souvent une force emblématique et constituent des nouvelles positives à relayer aux médias, qui en sont friands. En ce sens, ils peuvent fournir des occasions incroyables d'éduquer le public sur l'importance de la connectivité et de l'adaptation aux changements climatiques. Dans le sondage, les participants ont mentionné que les meilleurs arguments à utiliser pour convaincre le public de l'importance d'investir en écologie routière étaient le maintien de la biodiversité pour les générations futures (38 %) et la sécurité routière (36 %). Lors des échanges en plénière, ils ont aussi fait ressortir la pertinence d'être plus proactifs en ce qui concerne la communication au Québec et la nécessité de doter chaque projet d'une stratégie de communication efficace.

1. stayingconnectedinitiative.org

2. <http://roadsandwildlife.org/French/>



Corridor appalachien

En conclusion

Alors qu'en mai 2011, le premier colloque québécois sur le thème de l'écologie routière portait essentiellement sur les routes et la faune terrestre, le colloque de 2017, avec la variété des thèmes abordés, nous a permis de constater la diversification des enjeux auxquels s'attarde maintenant la discipline : connectivité terrestre et aquatique, variété des espèces fauniques affectées, adaptation des structures aux changements climatiques, participation citoyenne, aménagement du territoire, etc. Un prochain colloque pourrait même avoir une couverture encore plus large en intégrant d'autres types d'infrastructures de transport comme les lignes ferroviaires ou énergétiques.

Étant donné l'ampleur des enjeux liés à l'écologie routière, il serait irréaliste de les faire porter uniquement par le ministère des Transports du Québec, dont le mandat est principalement d'assurer la mobilité des personnes et des marchandises sur tout le territoire québécois, et ce, de façon sécuritaire. C'est pourquoi il faudra s'appuyer sur un leadership pleinement partagé, notamment avec les secteurs de l'Environnement et de la Faune de nos instances gouvernementales et avec les différents centres d'expertise dans le domaine (établissements de recherche, entreprises privées, organismes de conservation, etc.).

La Résolution 40-3 concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité, adoptée en août 2016 par les gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et les premiers ministres de l'Est du Canada, constitue un autre puissant levier pour faire reconnaître l'importance de ces enjeux. L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) vient également de mettre en place un nouveau groupe de travail spécialisé sur la connectivité (avec même un sous-groupe sur le transport) qui a pour mandat, d'une part, d'élaborer une série de recommandations pour la prise en compte de la connectivité, et d'autre part, d'inciter les juridictions membres à établir des aires prioritaires pour le maintien de la connectivité.

Cette récente reconnaissance internationale a créé un contexte particulièrement favorable au développement de solutions concrètes et novatrices aux enjeux globaux associés à l'écologie routière et à l'adaptation aux changements climatiques. Étant donné l'immensité du territoire québécois, il apparaît évident que des aires d'intervention prioritaires devront être définies. Peut-être est-ce là une des principales priorités pour le Québec en écologie routière?

La connectivité au-delà des frontières : Résolution 40-3 concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité

*Danielle St-Pierre, Antoine Nappi, Sonia de Bellefeuille,
Andrée-Anne Lévesque Aubé et Sylvie Martin*

Résumé

En août 2016, la Résolution 40-3 (*Résolution concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité*) a été adoptée lors de la 40^e Conférence annuelle des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada. Par cette résolution, les gouverneurs et les premiers ministres reconnaissent l'importance de la connectivité écologique pour la capacité d'adaptation et la résilience des écosystèmes, de la biodiversité et des communautés humaines face aux changements climatiques. La résolution souligne également l'importance de collaborer par-delà les frontières afin de faire avancer les efforts de conservation et de rétablissement de la connectivité écologique. Les éléments abordés dans la résolution touchent notamment la conservation, la planification de l'utilisation du territoire, la gestion des ressources naturelles et la planification des infrastructures routières. La mise en œuvre de cette résolution est assurée par un groupe de travail coprésidé par les gouvernements du Québec et du Vermont. D'ici 2020, les activités du groupe de travail viseront à favoriser la mise en œuvre d'actions concrètes en matière de connectivité écologique.

MOTS-CLÉS : biodiversité, changements climatiques, connectivité, conservation, Résolution 40-3

Abstract

In August 2016, Resolution 40-3, the *Resolution on Ecological Connectivity, Adaptation to Climate Change, and Biodiversity Conservation* was adopted at the 40th Annual Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers. The Resolution recognizes the importance of ecological connectivity for the adaptability and resilience of ecosystems, biodiversity and human communities in the face of climate change. It also stresses the importance of working across borders to advance efforts to conserve and restore ecological connectivity. Elements addressed in the Resolution include conservation, land use planning, natural resource management and transport infrastructure planning. The implementation of this Resolution is ensured by a working group co-chaired by the governments of Québec and Vermont. From now until 2020, the working group will focus its activities on promoting the implementation of solid actions related to ecological connectivity.

KEYWORDS: biodiversity, climate change, connectivity, conservation, Resolution 40-3

La Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada

Depuis 1973, la conférence annuelle des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (CGNA-PMEC) vise à favoriser les échanges et la coopération entre les gouvernements de cette région. Elle est composée, pour le Canada, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, de l'Île-du-Prince-Édouard, de Terre-Neuve-et-Labrador et du Québec. Elle regroupe également 6 États américains : le Connecticut, le Maine, le Massachusetts, le New Hampshire, le Rhode Island et le Vermont (figure 1).

La CGNA-PMEC constitue le principal instrument multilatéral du Québec pour le développement de ses relations avec la Nouvelle-Angleterre. Il s'agit d'un forum unique et efficace permettant d'établir des liens à l'échelle internationale

Danielle St-Pierre est directrice de l'expertise sur la faune terrestre, l'herpétofaune et l'avifaune du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). Elle est membre du Comité des directeurs canadiens de la faune et elle copréside, avec John Austin du Vermont, le groupe de travail chargé de mettre en œuvre la Résolution 40-3.

Danielle.St-Pierre@mffp.gouv.qc.ca

Antoine Nappi est chef du Service de la conservation de la biodiversité et des milieux humides de la Direction de l'expertise sur la faune terrestre, l'herpétofaune et l'avifaune du MFFP.

Sonia de Bellefeuille est biologiste au Service de la gestion des espèces et des habitats terrestres de la Direction de l'expertise sur la faune terrestre, l'herpétofaune et l'avifaune du MFFP.

Andrée-Anne Lévesque Aubé est chef du pupitre Nouvelle-Angleterre (p.i.), Direction États-Unis au Ministère des Relations internationales et de la Francophonie.

Sylvie Martin était coordonnatrice régionale au Secrétariat des premiers ministres de l'Est du Canada.

entre 11 administrations qui misent sur leur proximité géographique, mais également sur des liens historiques et culturels. Depuis 1973, les gouverneurs et premiers ministres de la CGNA-PMEC se rencontrent annuellement pour échanger sur diverses questions d'intérêt, adopter des positions communes et convenir de stratégies d'intervention. Les secteurs de coopération abordés ont évolué au fil des ans, variant selon les enjeux auxquels la région est exposée. La CGNA-PMEC a ainsi entrepris avec succès des projets dans des domaines aussi variés que le commerce, l'énergie, le développement économique, l'environnement, les océans, la foresterie, l'agriculture, les pêches, les transports, les technologies de l'information et le tourisme. La Conférence stimule la coopération de diverses façons, notamment en favorisant le développement d'un réseau de relations, en adoptant des mesures collectives, en réalisant des projets régionaux et en appuyant ceux des membres, en effectuant de la recherche et en sensibilisant davantage le public aux intérêts partagés par les organismes.

À titre d'exemple, la CGNA-PMEC a été particulièrement avant-gardiste en faisant de la lutte contre les pluies acides une priorité dès le début des années 1980. Ses plans d'action sur les pluies acides (CGNA/PMEC 1998) et les dépôts de mercure (CNEG/ECP 1998) ont permis la réalisation d'ambitieux projets, tels que la cartographie de la pollution atmosphérique dans le nord-est de l'Amérique (NEG/ECP Forest Mapping Group, 2007). En outre, son plan d'action sur les changements climatiques (CGNA/PMEC 2001) fut le premier plan identifiant des cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre signé par des gouvernements de différents pays. Grâce à ce plan, la région a atteint l'objectif qu'elle s'était fixé pour 2010 un an plus tôt que prévu.

Actuellement, la CGNA-PMEC¹ est composée de 5 comités permanents, chacun étant coprésidé par un représentant du gouvernement canadien et un du gouvernement américain. Le Québec participe activement aux travaux de la CGNA-PMEC : il copréside le Comité sur le transport et la qualité de l'air, le Comité international du Nord-Est sur l'énergie ainsi que le Comité directeur sur les changements climatiques.

1. Plus d'information voir : <https://www.cap-cpma.ca/cap-french/a-propos-du-conseil/conference-des-gouverneurs-de-la-nouvelle-angleterre-et-des-premiers-ministres-de-lest-du-canada-gnapmec/>.

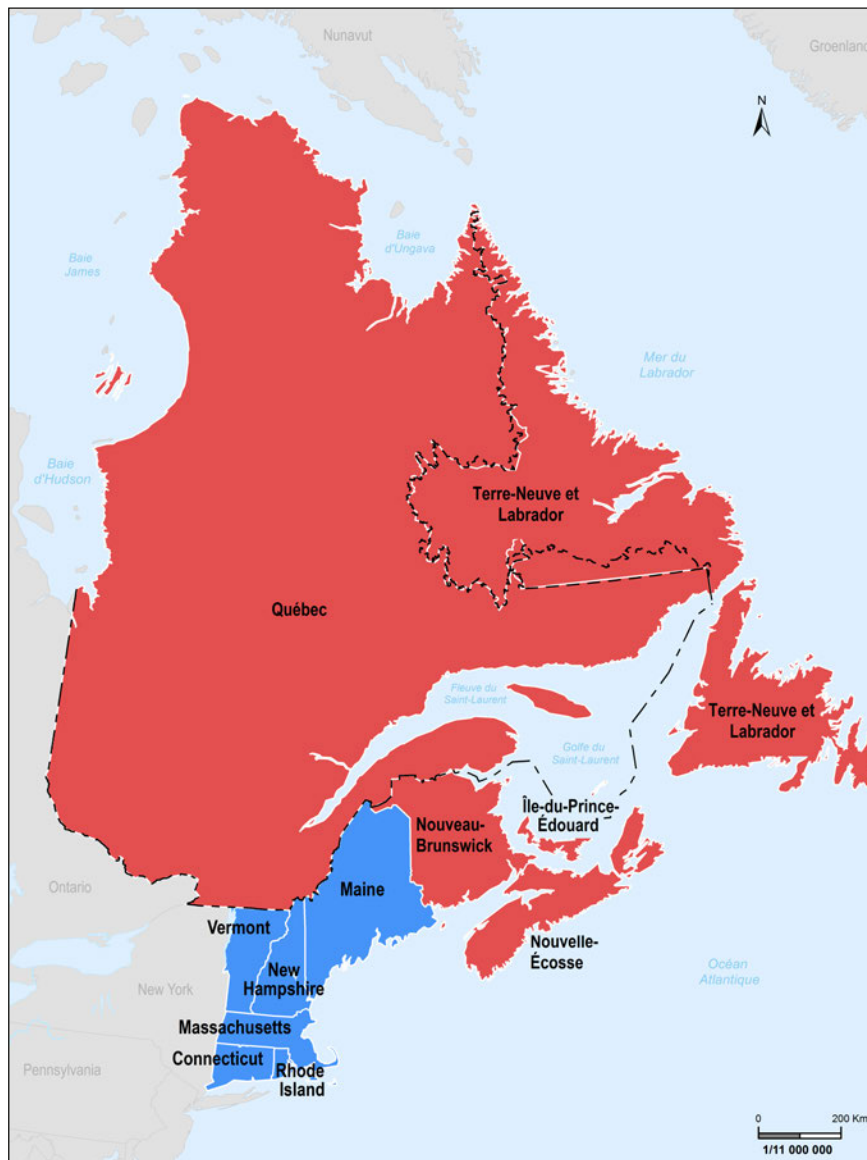


Figure 1. États et provinces de la Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (en bleu : les États de la Nouvelle-Angleterre; en rouge : les provinces de l'Est du Canada).

La connectivité écologique : un enjeu transfrontalier

La connectivité écologique peut être abordée sous de multiples angles selon le type d'élément physique ou le processus écologique sélectionné pour la mesurer (Meiklejohn et collab., 2016; Worboys et collab., 2010). Globalement, elle peut être définie comme « le degré selon lequel des éléments similaires du paysage, tels que les parcelles d'habitats ou de végétation, sont connectés les uns avec les autres de manière à faciliter les déplacements des espèces et les processus écologiques s'y rattachant » (définition adaptée de Meiklejohn et collab., 2016 et de Worboys et collab., 2010). La connectivité des diverses composantes des écosystèmes terrestres et aquatiques est essentielle afin de répondre aux besoins des

espèces et au maintien des populations. Pour la faune, par exemple, la connectivité des habitats permet aux animaux de se déplacer entre les sites d'alimentation, de reproduction et de repos. La connectivité écologique est également nécessaire afin de maintenir les processus clés de dynamique des populations tels que l'émigration et l'immigration, permettant ainsi la colonisation (ou la recolonisation) de parcelles d'habitats et la conservation de la diversité génétique des espèces (Jangjoo et collab., 2016; Taylor et collab., 1993).

Le développement du territoire, qu'il se traduise par l'étalement urbain, les activités agricoles, la foresterie, le développement industriel ou des transports (p. ex. : infrastructures routières, traverses de cours d'eau), entraîne inévitablement une diminution de la quantité d'habitats disponibles mais peut également mener à un isolement des habitats résiduels. Cette fragmentation soulève des enjeux de connectivité de natures diverses. Par exemple, les routes à proximité d'habitats d'amphibiens et de reptiles peuvent occasionner une forte mortalité chez ces espèces et constituer un enjeu pour la persistance des populations (Rytwinski et Fahrig, 2012). De la même façon, les collisions routières peuvent être nombreuses dans certains secteurs fortement fréquentés par la grande faune et constituer un enjeu de sécurité publique (Huijser et collab., 2009). Les barrages ainsi que les traverses de cours d'eau peuvent entraver le déplacement de la faune aquatique, limiter l'accès à certains habitats (p. ex. : frayères) et isoler les populations (Nislow et collab., 2011).

Le maintien de la connectivité peut s'avérer particulièrement important dans un contexte de changements climatiques. Pour faire face à des conditions changeantes de climat et d'habitat, les espèces fauniques ou floristiques n'auront guère d'autres choix que de s'adapter ou de se relocaliser. Ainsi, la conservation d'habitats diversifiés et connectés constitue l'une des principales mesures d'adaptation aux changements climatiques; elle permet aux espèces de se déplacer et d'occuper des habitats répondant à leurs besoins (Heller et Zavaleta, 2009).

La connectivité écologique s'exprime à différentes échelles spatiales. Localement, elle peut se définir par la connexion entre diverses parcelles d'habitats liées par des corridors plus ou moins continus. Régionalement, la connectivité peut se traduire par la connexion de vastes portions d'habitats comme de grands massifs forestiers. Finalement, à une échelle continentale, certaines régions jouent un rôle particulièrement critique pour la connectivité, par exemple dans les régions situées à l'est des Grands Lacs où la forêt appalachienne rendrait possible la migration vers le nord de nombreuses espèces dans un contexte de changements climatiques (Lawler et collab., 2013; The Nature Conservancy, 2016).

Ces multiples échelles dans la gestion de la connectivité écologique font ressortir l'importance de travailler à tous les niveaux décisionnels et au-delà des frontières.

La Résolution 40-3

La Résolution 40-3, adoptée en août 2016, constitue un engagement concret face aux enjeux multiples qui découlent de la fragmentation des écosystèmes terrestres et aquatiques en reconnaissant l'importance de la connectivité écologique pour l'adaptation et la résilience des écosystèmes, de la biodiversité et des communautés humaines face aux changements climatiques (CGNA/PMEC, 2016).

Les engagements prévus dans la résolution touchent à diverses facettes de la conservation, de la planification de l'utilisation du territoire, de la gestion des ressources naturelles et de la planification des infrastructures routières. En voici quelques exemples² :

- Dans le domaine de la CONSERVATION, les gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et les premiers ministres de l'Est du Canada (GNA-PMEC) « enjoignent aux organismes relevant de leur autorité de donner une place plus importante à la connectivité, à la conservation et au rétablissement écologiques dans leurs activités ». Ils leur conseillent également « d'appuyer les efforts de protection et de planification du territoire qui protègent et améliorent la connectivité, et de promouvoir la gestion durable des terres publiques et privées et des systèmes aquatiques qui contribuent à ces objectifs ».
- Dans le domaine des TRANSPORTS, les GNA-PMEC « enjoignent aux organismes œuvrant dans les domaines du transport et des ressources naturelles dans chaque administration de collaborer aux efforts en vue de trouver la bonne conception et la bonne taille pour l'infrastructure de transport, afin de permettre aux espèces terrestres et aquatiques de circuler et de faciliter l'adaptation aux changements prévus dans les précipitations et les débits de pointe en raison des changements climatiques ».
- Dans le domaine de la PLANIFICATION, les GNA-PMEC « encouragent les organismes d'aménagement du territoire à tous les niveaux, particulièrement dans les municipalités, à inclure des objectifs de connectivité des habitats dans leurs politiques et activités d'aménagement du territoire ».

Mise en œuvre de la Résolution 40-3

La mise en œuvre de la Résolution 40-3 est assurée par un groupe de travail dont la présidence est partagée par le Gouvernement du Québec et celui du Vermont. D'ici 2020, les activités du groupe de travail viseront à favoriser et appuyer la mise en œuvre d'actions en matière de connectivité écologique. Concernant les engagements de la résolution, les actions poursuivies viseront à répondre aux objectifs suivants :

- **Développer les réseaux de collaborateurs** — La mise en œuvre d'actions en connectivité écologique repose tout d'abord sur la connectivité des acteurs du milieu. Une collaboration des acteurs facilitera l'arrimage et

2. Pour la version complète de la Résolution 40-3 en français : <https://www.cap-cpma.ca/images/40-3%20Climate%20Change%20FR.pdf>.

la réalisation d'actions clés selon les mandats et les responsabilités des différents intervenants.

- **Développer la science sur la connectivité écologique** — Une identification des zones prioritaires de connectivité écologique basée sur des méthodes rigoureuses est essentielle afin d'appuyer les décisions de gestion et de s'assurer de l'atteinte des objectifs en matière de connectivité.
- **Partager l'information sur les initiatives en connectivité écologique** — Le partage d'information en matière de connectivité auprès des différents acteurs est nécessaire afin de bien déterminer les informations, les outils et les expertises disponibles en la matière.
- **Améliorer la prise en compte de la connectivité écologique dans la planification territoriale** — Des orientations et des outils d'aide à la décision doivent être disponibles afin que les responsables de la planification territoriale possèdent toute l'information nécessaire pour prendre en compte adéquatement les enjeux relatifs à la connectivité sur leur territoire.
- **Appuyer la mise en œuvre d'actions concrètes en connectivité** — Des projets visant à maintenir ou à restaurer la connectivité des écosystèmes terrestres ou aquatiques seront nécessaires dans les secteurs identifiés comme prioritaires, et ce, tant à l'échelle locale que régionale.

Le Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques : de la recherche aux actions concrètes, tenu à Québec du 23 au 25 octobre 2017, s'est inscrit pleinement dans ces objectifs, notamment en contribuant au partage de l'expertise et en favorisant la collaboration. La recherche de solutions aux enjeux liés à l'écologie routière, un concept en émergence qui touche notamment au maintien de la connectivité des habitats, à la conservation de la faune et à l'adaptation aux changements climatiques, exige la collaboration de nombreux intervenants provenant de diverses disciplines, organismes et territoires. En plus de permettre de faire le point sur les connaissances actuelles dans le domaine de l'écologie routière, le colloque a constitué une occasion unique de favoriser le dialogue interdisciplinaire et le développement de futurs partenariats, et de contribuer ainsi à développer une culture de la connectivité des milieux naturels.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les réviseurs qui ont relu ce manuscrit et permis par leurs judicieux commentaires de l'améliorer. ◀

Références

- CGNA/PMEC, 1998. Plan d'action visant les pluies acides. Comité de l'environnement de la Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada. Disponible en ligne à : <http://www.scics.ca/fr/product-produit/plan-daction-visitant-les-pluies-acides/>. [Visité le 2018-03-19].
- CGNA/PMEC, 2001. Plan d'action sur le changement climatique. Comité sur l'environnement et Comité international du Nord-Est sur l'énergie de la Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada, 21 p. Disponible en ligne à : <https://www.cap-cpma.ca/images/CAP/Climate%20Change%20Action%20Plan%20French.pdf>. [Visité le 2018-03-19].
- CGNA/PMEC, 2016. Résolution 40-3 concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité. 40^e Conférence annuelle des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada, 29 août 2016, Boston, MA. Disponible en ligne à : <https://www.cap-cpma.ca/images/40-3%20Climate%20Change%20FR.pdf>. [Visité le 2018-03-19].
- CNEG/ECP, 1998. Mercury Action Plan. Committee on the environment of the Conference of New England governors and Eastern Canadian premiers, 18 p. Disponible en ligne à : <https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/op/negecp.pdf>. [Visité le 2018-03-19].
- Heller, N.E. et E.S. ZAVALETA, 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142 : 14-32. doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006.
- HUIJSER, M.P., J.W. DUFFIELD, A.P. CLEVENGER, R.J. AMENT et P.T. MCGOWEN, 2009. Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada; a decision support tool. *Ecology and Society*, 14 : 15. doi:10.5751/ES-03000-140215.
- JANGJOO, M., S.F. MATTER, J. ROLAND et N. KEYGHOBADI, 2016. Connectivity rescues genetic diversity after a demographic bottleneck in a butterfly population network. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113 : 10914-10919. doi.org/10.1073/pnas.1600865113.
- LAWLER, J.J., A.S. RUESCH, J.D. OLSEN et B.H. MCRAE, 2013. Projected climate-driven faunal movement routes. *Ecology Letters*, 16 : 1014-1022. doi:10.1111/ele.12132.
- MEIKLEJOHN, K., R. AMENT et G. TABOR, 2016. Habitat corridors & landscape connectivity: clarifying the terminology. *Center for Large Landscape Conservation*, Bozeman, MT, 6 p. Disponible en ligne à : <http://largelandscapes.org/media/publications/Habitat-corridors-and-landscape-connectivity1.pdf>. [Visité le 2018-03-19].
- NEG/ECP Forest Mapping Group, 2007. Mapping forest sensitivity to atmospheric acid deposition – 2006-2007 annual report. Committee on the environment of the Conference of New England governors and Eastern Canadian premiers, 12 p. Disponible en ligne à : <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Ouimet-Rock/Rapport-Forest-Mapping-Group-2007.pdf>. [Visité le 2018-06-19].
- NISLOW, K.H., M. HUDY, B.H. LETCHER et E.P. SMITH, 2011. Variation in local abundance and species richness of stream fishes in relation to dispersal barriers: Implications for management and conservation. *Freshwater Biology*, 56 : 2135-2144. doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02634.x.
- RYTWINSKI, T. et L. FAHRIG, 2012. Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biological Conservation*, 147 : 87-98. doi:10.1016/j.biocon.2011.11.023.
- TAYLOR, P.D., L. FAHRIG, K. HENEIN et G. MERRIAM, 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68 : 571-573. doi:10.2307/3544927.
- THE NATURE CONSERVANCY, 2016. Migrations in motion. Carte créée par Dan MAJKA pour The Nature Conservancy's North America Region science team. Disponible en ligne à : <http://maps.tnc.org/migrations-in-motion/#4/42.00/-98.39>. [Visité le 2018-03-19].
- WORBOYS, G.L., W.L. FRANCIS et M. LOCKWOOD (édit.), 2010. Connectivity conservation management: A global guide. Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 416 p.

L'initiative *Staying Connected*: pour reconnecter la nature et les humains par-delà les frontières

Louise Gratton et Jessica Levine

Résumé

L'initiative *Staying Connected* (SCI) est issue d'une collaboration binationale comptant plus de 55 partenaires américains et canadiens (départements et ministères responsables des transports et de la faune, universités et organismes de conservation). Depuis 2009, tous travaillent ensemble à préserver la connectivité du paysage à l'échelle de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie. Les partenaires de SCI mettent en œuvre une approche multisectorielle visant à rendre les routes plus sécuritaires pour la faune et les usagers. Ils collaborent aux analyses spatiales afin d'identifier les segments de routes prioritaires au maintien de la connectivité, participent à la validation des endroits critiques où les animaux traversent les routes et contribuent au choix des infrastructures les mieux adaptées pour faciliter leur passage et réduire le nombre de collisions. L'accès pour la faune aux habitats situés de part et d'autre de l'emprise routière est assuré par la conservation des milieux naturels dans les corridors fauniques. Les mesures prises sont la protection des terres situées aux abords des routes, l'aménagement du territoire, la sensibilisation du public et le développement de politiques permettant de garantir la pérennité de ces investissements pour la connectivité.

MOTS-CLÉS: Appalaches, connectivité, corridor, conservation, écologie routière

Abstract

The Staying Connected Initiative (SCI) is a binational collaboration between more than 55 public and private entities in Canada and the United States, including public transportation and wildlife agencies, universities and conservation organizations. The SCI partners have been working together since 2009 to sustain landscape connectivity across the Northern Appalachian/Acadian ecoregion, and they have implemented a suite of strategies to make roads safer for wildlife and people. Partners collaborate in spatial analyses to identify road segments that are key to maintaining connectivity; participate in the validation of critical wildlife passages; and are involved in choosing designs to facilitate safe passage for wildlife and to reduce roadkill. To ensure that wildlife can access habitats beyond the right-of-way, the SCI partners use measures such as land protection along wildlife corridors (including along roadsides), land-use planning, and public engagement, and they provide support for policy to safeguard investments made for landscape connectivity.

KEYWORDS: Appalachians, connectivity, conservation, corridor, road ecology

Introduction

La communauté scientifique reconnaît que les paysages composés de grands massifs forestiers reliés entre eux par des corridors naturels sont un gage de survie pour la flore et la faune indigènes, qui devront vraisemblablement ajuster leur aire de répartition avec l'évolution appréhendée du climat (Bertheaux et collab., 2014). Par le fait même, le maintien d'un tel réseau de milieux naturels est considéré comme l'une des plus importantes stratégies d'adaptation aux changements climatiques permettant de préserver à la fois la biodiversité et les fonctions écologiques (Heller et Zavaleta, 2009). La Commission mondiale des aires protégées de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a récemment créé un groupe de spécialistes de la conservation de la connectivité pour définir une norme mondiale pour les zones de connectivité (IUCN, 2017). L'importance de la connectivité écologique est donc bien reconnue par les chercheurs et, au cours de la dernière décennie, cette notion a fait son chemin au-delà de la communauté scientifique. Il est de plus en plus admis que les activités socio-économiques et les valeurs qui leur sont associées dépendent d'écosystèmes résilients. En 2017, le Conseil mondial des entreprises pour le développement

durable a publié un rapport qui met l'accent sur l'importance, pour les entreprises, des écosystèmes connectés, en raison des multiples cibles sociales et économiques qui dépendent en partie ou en totalité des bénéfices qu'ils procurent aux populations humaines (WBCSD, 2017). Alors que les pressions de développement et les phénomènes climatiques s'intensifient, une coopération transfrontalière est indispensable au maintien de la connectivité des habitats et des paysages, au bénéfice de la nature et des humains.

Louise Gratton, M. Sc., est consultante en écologie et conservation. Elle est membre du conseil d'administration du Corridor appalachien, du comité-conseil de l'initiative Staying Connected et coordonnatrice du projet des Trois-Frontières pour Deux Pays, Une Forêt.

louisegratton@jeangaudet.ca

Jessica Levine, M. Sc., est conseillère principale en conservation pour Nature United, la filiale canadienne de The Nature Conservancy. À ce titre, elle est coordonnatrice de l'initiative Staying Connected.

jlevine@TNC.org

À cheval sur la frontière entre le nord-est des États-Unis et le sud-est du Canada, les vastes aires boisées de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie appartiennent à l'étendue de forêt tempérée décidue la plus importante et la plus intacte au monde (De Gouvenain et Silander, 2017). Cette écorégion occupe une superficie de 32 millions d'hectares dont près de 40 % sont relativement naturels (Woolmer et collab., 2008). Elle abrite plus de 5 millions d'habitants répartis dans 5 États américains et 3 provinces canadiennes, ainsi que d'innombrables espèces fauniques et floristiques. Dans l'est de l'Amérique du Nord, elle se distingue comme une région cruciale du point de vue de la résilience de ses écosystèmes face aux changements climatiques, à condition que la connectivité entre les grands noyaux forestiers soit maintenue, améliorée ou restaurée (Anderson et collab., 2016).

Staying Connected (SCI) est une initiative de collaboration canado-américaine regroupant plus de 55 organismes gouvernementaux et non gouvernementaux qui œuvrent, depuis 2009, à la protection de la connectivité dans l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie (ESWG, 1996). Afin de remplir sa mission, l'initiative a adopté une approche multi-sectorielle et innovante, combinant à la fois la science de la conservation, la protection des milieux naturels, l'aménagement du territoire, l'engagement communautaire, l'adaptation des réseaux de transport et la représentation politique.

Les partenaires de SCI sont des départements ou ministères des transports et de la faune, des universités ainsi que des organismes à but non lucratif préoccupés par les enjeux de la conservation à l'échelle des paysages. Comme la connectivité écologique s'exprime à plusieurs échelles, le travail de SCI se fait à tous les niveaux, depuis la conservation de lots individuels pour préserver les grands massifs forestiers et les corridors naturels jusqu'à l'aménagement de passages fauniques pour minimiser l'impact des infrastructures routières sur le déplacement de la faune, de même que par l'engagement des communautés locales et des instances régionales et nationales pour appuyer ces mesures. Le succès des projets initiés dans l'écorégion dépend d'une coordination efficace des efforts déployés et, surtout, du partage des connaissances et de l'expertise des partenaires de SCI.

L'approche de SCI se décline en plusieurs facettes décrites ci-après, soit : l'identification de problématiques de connectivité, guidée par la science de la conservation, l'aménagement du territoire, la sensibilisation à la protection de la faune et de la flore, la conservation des milieux naturels, l'adaptation des infrastructures routières et la représentation politique.

La science de la conservation

La science de la conservation et la recherche appliquée soutiennent et guident le travail des partenaires de SCI. Ceci comprend les analyses spatiales pour identifier les corridors naturels entre les grands noyaux forestiers à l'échelle régionale (Reining et collab., 2006) et la priorisation des liens à maintenir, à améliorer ou à restaurer pour préserver la connectivité en

tenant compte de l'empreinte humaine actuelle et future (Trombulak et collab., 2008) (figure 1). Pour confirmer que les corridors sont fonctionnels à l'échelle locale, c'est-à-dire qu'ils sont privilégiés par la faune dans ses déplacements, les partenaires réalisent les analyses à une échelle plus fine. Ils acquièrent des données sur le terrain en utilisant des caméras à déclenchement automatique, les inventaires aériens ainsi que le pistage, et analysent les informations récoltées sur les accidents routiers impliquant la grande faune et, lorsque disponibles, celles sur la mortalité d'autres espèces animales. Ces données permettent de confirmer la présence de la faune à des endroits stratégiques pour leurs déplacements, notamment aux intersections des corridors naturels avec le réseau routier, où les collisions sont susceptibles de se produire.

L'aménagement du territoire

La majorité des terres et la quasi-totalité des corridors naturels reliant les grands noyaux forestiers de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie sont de tenure privée et assujettis aux réglementations municipales et régionales. SCI offre une assistance technique aux municipalités, aux municipalités régionales de comté (MRC) ou autres entités régionales, de même qu'aux propriétaires privés, afin de promouvoir des mesures qui prennent en compte les besoins des animaux avec qui l'humain cohabite sur le territoire. En adoptant des règlements d'urbanisme et une gestion des milieux naturels qui vise à maintenir la connectivité écologique, les communautés peuvent jouer un rôle très important tout en obtenant des bénéfices qui dépassent largement la protection des espèces fauniques. Selon l'échelle et l'emplacement, les corridors naturels peuvent fournir plusieurs services écologiques : ils stabilisent les sols sur les rives des cours d'eau, contribuent à la diversité des pollinisateurs et des prédateurs d'insectes nuisibles en zone agricole et constituent une infrastructure verte permettant d'accueillir des sentiers de randonnée. L'expertise développée par le bureau des Adirondacks du Wildlife Conservation Society (WCS) a servi de modèle dans l'approche adoptée par plusieurs partenaires dans toute l'écorégion (Corridor appalachien, 2016; Smith et collab., 2012; WCS, 2015). En effet, jusqu'à maintenant, grâce au soutien des partenaires de SCI, 28 municipalités et 7 entités régionales dans la région de SCI ont intégré des mesures particulières pour prendre en compte les milieux naturels dans leurs plans d'urbanisme ou leurs schémas d'aménagement. Suivant cet exemple, Corridor appalachien a entrepris, en 2017, une tournée auprès de 10 municipalités dans 3 MRC pour les sensibiliser à l'importance de tenir compte des éléments écologiques en matière de planification (Corridor appalachien, 2017). La municipalité d'Austin, en Estrie, fut la première à inclure dans son plan d'urbanisme les zones de connectivité faunique avec des normes spécifiques concernant les clôtures, en plus d'avoir de nouvelles restrictions s'appliquant aux travaux d'abattage d'arbres sur les rives (MRC Memphrémagog, 2018).

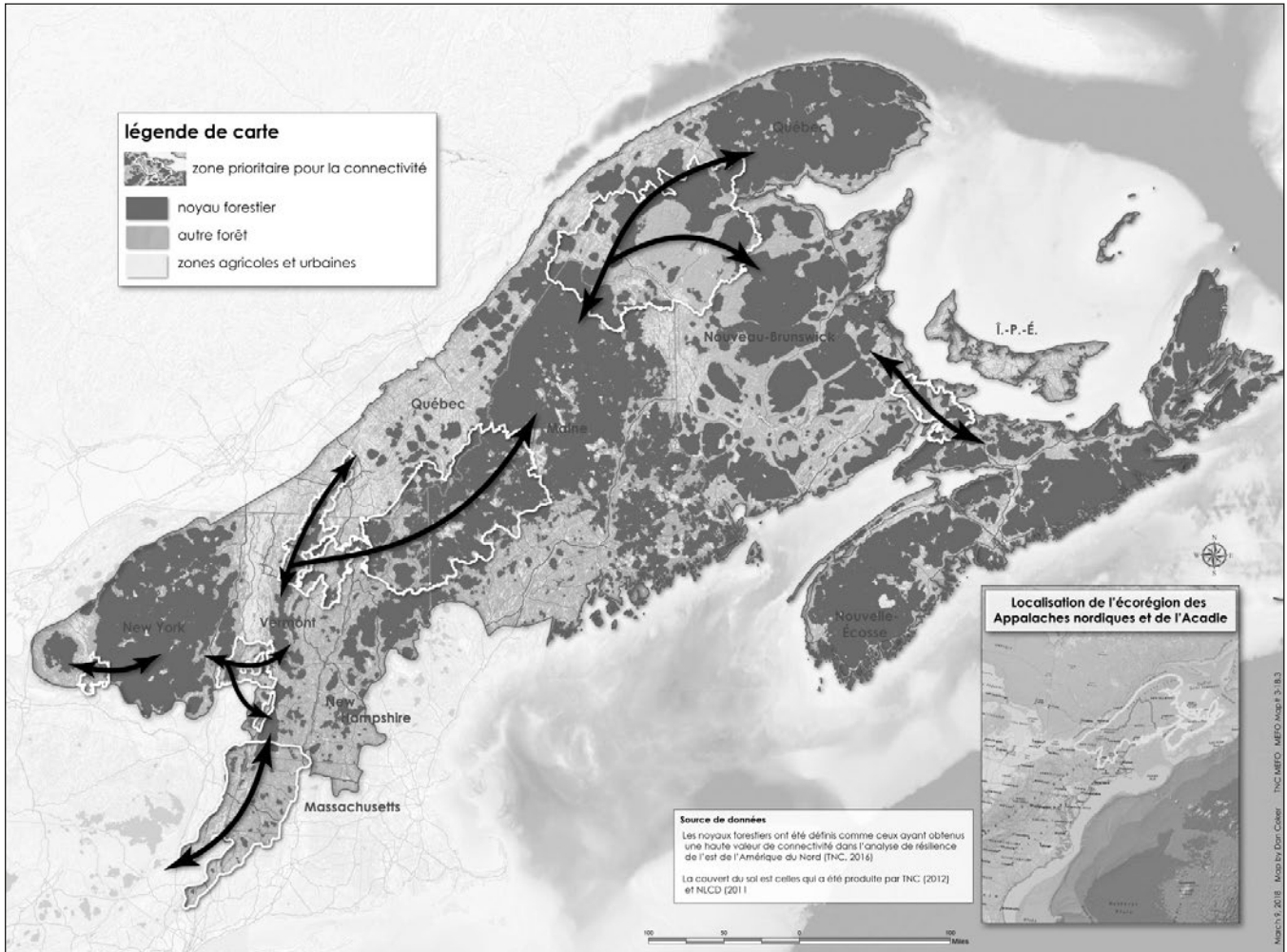


Figure 1. Les 9 zones prioritaires de connectivité dans l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie. Les noyaux forestiers ont été définis comme ceux ayant obtenu une grande valeur de connectivité dans l'analyse de résilience de l'est de l'Amérique du Nord. Les flèches noires indiquent les liens cruciaux à maintenir ou à restaurer.

La sensibilisation à la protection de la faune et de la flore

Les partenaires de SCI mènent des activités de sensibilisation auprès des propriétaires fonciers dans les zones de connectivité prioritaires (figure 1) afin d'encourager un aménagement du territoire qui facilite les déplacements de la faune. Ceci implique le développement de formations visant spécifiquement des aménagements forestiers et fauniques pour maintenir des corridors naturels, telles les bandes riveraines ou des aires de concentration ou d'alimentation. Cette sensibilisation vise notamment à aider les propriétaires forestiers à comprendre leur rôle dans le maintien de la connectivité à l'échelle des paysages. À titre d'exemple, un recueil de recommandations sur l'aménagement des terrains, destiné aux propriétaires situés dans une zone prioritaire pour la connectivité entre le plateau de Tug Hill et les montagnes des Adirondacks, a été récemment publié (SCI, 2017).

La conservation des milieux naturels

Au sein des liens prioritaires, SCI œuvre à la protection de milieux naturels importants pour la connectivité écologique, tels que des corridors forestiers et riverains. Les dons, les acquisitions et les ententes de conservation légales, y compris des réserves naturelles au sens de la *Loi sur le patrimoine naturel* (MDDELCC, 2018), des servitudes de conservation et des servitudes forestières, permettent de sécuriser la pérennité et la fonctionnalité de ces corridors dans le temps. Dans les secteurs les plus fragmentés, ceci peut impliquer la sauvegarde de milieux naturels discontinus, mais qui permettent néanmoins les déplacements fauniques (Albert et collab., 2017). Les organismes de conservation et les partenaires gouvernementaux et privés ont permis de protéger jusqu'à maintenant plus de 202 500 ha (2 025 km²) de milieux naturels dans les 9 zones de connectivité prioritaires de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie (figure 1). Sur le territoire de Corridor appalachien, un partenaire clé de SCI au Québec, près d'une centaine d'hectares contribuent spécifiquement à maintenir

des corridors fonctionnels de part et d'autre de l'autoroute 10, là où des infrastructures existantes sont déjà utilisées par la faune (Daguet et Lelièvre, 2018) ou encore, là où des passages fauniques sont prévus (Corridor appalachien, 2014). Le travail ne fait que commencer (C. Robidoux, comm. pers.).

L'adaptation des infrastructures routières

Les routes sont parmi les infrastructures anthropiques qui contribuent le plus à fragmenter les paysages. Lorsqu'elles interceptent les corridors utilisés par la faune, elles peuvent nuire au déplacement des espèces les moins mobiles et, pour celles qui réussissent à franchir ces barrières, elles augmentent les risques de collision avec les véhicules, avec des conséquences néfastes tant pour les animaux que pour les usagers. Les partenaires de SCI suivent les déplacements de la faune aux abords du réseau routier. Collectivement, ils ont déployé plus de 225 caméras à déclenchement automatique à 83 endroits le long du réseau routier, dans 5 États américains, soit le Maine, le New Hampshire, le Massachusetts, le Vermont et New York, et 3 provinces canadiennes, soit le Québec, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse (SCI, 2016; St-Pierre et collab., 2018). L'objectif est d'évaluer l'utilisation des infrastructures (ponts et ponceaux) déjà en place et, le cas échéant, de proposer des interventions prioritaires pour les rendre plus efficaces, ou les remplacer, afin de minimiser les impacts sur les déplacements fauniques.

Outre la conception et la mise en place de passages fauniques, toute une gamme de mesures reconnues et peu coûteuses est déployée afin de rendre les routes plus sécuritaires tant pour les usagers que pour la faune. L'adaptation de ponts et de ponceaux pour augmenter leur perméabilité aux déplacements de la faune inclut, par exemple, l'ajout de clôtures, de remblais et de couvert végétal placés de manière à guider les animaux vers les passages fauniques existants. Elle consiste aussi à aménager, sous les ponts, des surfaces mieux adaptées au déplacement des animaux, notamment pour les ongulés qui évitent les enrochements, et à ajouter des tablettes qui facilitent le franchissement à pied sec des ponceaux, ce que préfèrent beaucoup de mammifères de petite et de moyenne taille. Des exemples sont documentés pour divers projets réalisés dans les États de New York, du Vermont, du Maine et du Massachusetts ainsi qu'au Québec, où les organismes gouvernementaux responsables des infrastructures routières ont travaillé à la mise en place de telles mesures en étroite collaboration avec les organismes de conservation (SCI, 2018). Le bilan de leur efficacité à moyen et long terme est à venir, mais, à ce jour, les données de suivi de ces projets montrent que les passages fauniques sont bel et bien utilisés par la faune (Stewart, 2015).

SCI réunit les intervenants sur une base régulière afin de faciliter le partage des connaissances, de les renseigner sur les meilleures pratiques adoptées à travers l'écorégion et de maintenir à jour leur expertise sur la connectivité : inventaires, design des infrastructures, protocoles de suivis et amélioration de l'efficacité de ces derniers. Les partenaires de SCI au

Vermont ont mené des recherches dans 23 sites et ont formulé des recommandations sur la gestion des corridors routiers visant à accroître la fréquence des déplacements de la faune dans les passages fauniques sous les ponts et dans les ponceaux (Marangelo et Farrell, 2016). De plus, les partenaires de SCI se sont regroupés pour publier un rapport documentant les leçons apprises de l'utilisation des caméras à déclenchement automatique dans les Appalaches nordiques (SCI, 2016). On y trouve des exemples qui vont du bon positionnement des caméras, pour minimiser les déclenchements occasionnés par le mouvement de la végétation, à l'importance d'avoir un nombre suffisant d'observations indépendantes pour obtenir des résultats statistiquement valables.

La représentation politique

Les partenaires de SCI contribuent à la promotion et au développement de politiques et de pratiques visant à maintenir la connectivité des paysages. Des objectifs et des critères de maintien de cette connectivité écologique ont été intégrés aux plans et politiques de transport, de protection de la faune et de sauvegarde des milieux forestiers de plusieurs États américains. En 2016, le travail de SCI a mené à l'écriture et à la signature de la Résolution 40-3 des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada concernant « la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité » (NEGECPC, 2016). Cette résolution appelle les ministères et agences gouvernementales à collaborer par-delà les frontières afin de faire progresser les enjeux de conservation et de maintien de la connectivité des paysages. Cette entente de haut niveau servira de tremplin à l'élaboration et à la mise en œuvre d'objectifs en ce sens à l'échelle des provinces canadiennes et des États américains, des régions et des communautés locales dans toute l'écorégion. Les partenaires de SCI sont impliqués dans le développement des orientations et des modalités de mise en œuvre.

L'exemple du projet des Trois-Frontières

Le projet des Trois-Frontières, initié par Deux pays, une forêt (2P1F), illustre bien la mise en œuvre de chaque étape de l'approche multisectorielle dont SCI fait la promotion.

L'élément déclencheur fut l'identification d'un lien prioritaire dans une zone chevauchant les provinces de Québec et du Nouveau-Brunswick ainsi que l'État du Maine (Trombulak et collab., 2008). Plus particulièrement, il était urgent d'agir dans la région du Bas-Saint-Laurent, devant la reprise éventuelle des travaux de construction de l'autoroute 85 qui relie Rivière-du-Loup à la frontière du Nouveau-Brunswick, pour la section de 40 km entre Saint-Antonin et Saint-Louis-du-Ha! Ha! En 2013, 2P1F rencontrait les directions régionales et générales du ministère des Transports du Québec (MTQ) et du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) du gouvernement du Québec, les organismes : Conservation de la nature Canada, Conseil

régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent et l'Agence de mise en valeur des forêts privées du Bas-Saint-Laurent ainsi que des chercheurs de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) pour les sensibiliser à la position stratégique de leur région pour le maintien de la connectivité à l'échelle de l'écorégion. Les rencontres subséquentes regroupant ces divers intervenants ont permis de cibler les actions requises pour mener à terme le projet des Trois-Frontières.

En 2015, le MTQ a accordé aux chercheurs de l'UQAR une subvention de recherche afin de modéliser, et de valider, des corridors fauniques de part et d'autre de l'autoroute 85, dans le but d'identifier les endroits propices pour la mise en place de mesures d'atténuation visant à améliorer la sécurité des usagers et de la faune (Laliberté et St-Laurent, 2018). Un comité de suivi réunissant les chercheurs et les gestionnaires des ministères, 2P1F, Conservation de la nature Canada, Horizon Nature Bas-Saint-Laurent, le Conseil régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent, l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées du Bas-Saint-Laurent, la Première Nation Malécite de Viger et les MRC de Rivière-du-Loup et du Témiscouata permet à tous de suivre l'avancement des travaux et de discuter des décisions prises.

Or, les infrastructures que le MTQ prévoit réaliser (passages pour la grande et la petite faune, passages multifonctionnels, clôtures, signalisation) se limiteront à l'emprise routière. Puisque l'efficacité à long terme de ces infrastructures sera étroitement liée à la capacité des intervenants à promouvoir la protection des corridors fauniques auprès des propriétaires et des gestionnaires du territoire bordant la nouvelle autoroute, il a été reconnu que la création d'un organisme de conservation local serait un atout à la réussite du projet. C'est ainsi qu'en 2016, Horizon Nature Bas-Saint-Laurent a vu le jour avec pour mission de conserver la biodiversité du Bas-Saint-Laurent, notamment par l'acquisition de milieux naturels. Une première activité de l'organisme visait à sensibiliser un plus large auditoire à l'importance de maintenir la connectivité dans la région. En collaboration avec Conservation de la nature Canada et 2P1F, l'organisme a planifié plusieurs autres actions de conservation pour les années à venir, notamment dans le Témiscouata, où la pérennité des corridors fauniques de part et d'autre de l'autoroute 85 dépendra largement de l'engagement des communautés et des propriétaires terriens sensibles aux enjeux fauniques.

Conclusion

L'exemple du projet des Trois-Frontières de 2P1F illustre l'un des nombreux projets mis en place grâce à l'approche de SCI. En multipliant les efforts concertés à l'ensemble de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie, là où les pressions anthropiques menacent d'interrompre la connectivité, les partenaires de SCI sont persuadés qu'ils pourront préserver la résilience des écosystèmes et leur biodiversité.

Remerciements

Merci à Daniel Coker, géomaticien pour *The Nature Conservancy* de l'État du Maine, pour les cartes, et à Clément Robidoux, biologiste et coordonnateur de la conservation pour Corridor appalachien. Nous remercions également les réviseurs scientifiques dont les commentaires ont contribué à améliorer notre texte. ◀

Références

- ALBERT, C.H., B. RAYFIELD, M. DUMITRU et A. GONZALEZ, 2017. Applying network theory to prioritize multi-species habitat networks that are robust to climate and land-use change. *Conservation Biology*, 31 (6) : 1383–1396.
- ANDERSON, M.G., A. BARNETT, M. CLARK, J. PRINCE, A. OLIVERO SHELDON et B. VICKERY, 2016. Resilient and connected landscapes for terrestrial conservation. The Nature Conservancy, Eastern Conservation Science, Eastern Regional Office, Boston, 149 p. Disponible en ligne à : http://nwbcc.org/wp-content/uploads/2016/08/Anderson-et-al.-2016-Resilient_and_Connected_Landscapes_For_Terrestrial_Conservation.pdf.
- BERTEAUX, D., N. CASAJUS et S. DE BLOIS, 2014. Changements climatiques et biodiversité du Québec : vers un nouveau patrimoine naturel. Les Presses de l'Université du Québec, Québec, 202 p.
- CORRIDOR APPALACHIEN, 2014. Protocole d'identification des corridors et passages fauniques. Étude de cas : L'autoroute 10 entre les km 68 et 143. Eastman, 55 p. Disponible en ligne à : https://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/protocole_corridors_fauniques_aut10.pdf.
- CORRIDOR APPALACHIEN, 2016. Cohabiter avec la nature! Guide pour les urbanistes, aménagistes et communautés locales des Appalaches du sud du Québec, Eastman, 8 p. Disponible en ligne à : https://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/Cohabiter_avec_la_nature_WEB.pdf.
- CORRIDOR APPALACHIEN, 2017. Des nouvelles de Corridor appalachien. Printemps-été 2017. Disponible en ligne à : http://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2017/05/PRINTEMPS_2017-FRA.pdf. [Visité le 2018-04-07].
- DAGUET, C. et M. LELIÈVRE, 2018. Identification et protection des corridors naturels de part et d'autre de l'autoroute 10 (Estrie et Montérégie Est) et amélioration de sa perméabilité faunique : premiers résultats. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1) : 32-39.
- DE GOUVENAIN, R.C. et J.A. SILANDER JR., 2017. Temperate forests. Dans : Reference module in the life sciences. Elsevier. Disponible en ligne à : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02310-4>. [Visité le 2018-09-22].
- [ESWG] ECOLOGICAL STRATIFICATION WORKING GROUP, 1996. A national ecological framework for Canada. Agriculture and Agri-Food Canada, Research Branch, Centre for Land and Biological Resources Research, and Environment Canada, State of the Environment Directorate, Ecozone Analysis Branch, Ottawa/Hull. Report and national map at 1:7 500 000 scale. Disponible en ligne à : <http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/manuals/1996/A42-65-1996-national-ecological-framework.pdf>. [Visité le 2018-09-21].
- HELLER, N. et E. ZAVALA, 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142 (1) : 14-32.
- [IUCN] INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE, 2017. Connectivity conservation. Disponible en ligne à : <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/wcpa/what-we-do/connectivity-conservation>. [Visité le 2018-03-02].
- LALIBERTÉ, J. et M.-H. ST-LAURENT, 2018. Détermination des facteurs spatiotemporels expliquant le risque de collision routière avec des cervidés sur l'axe 85/185 au Témiscouata. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1) : 40-47.

- MARANGELO, P. et L. FARRELL, 2016. Reducing wildlife mortality on roads in Vermont: documenting wildlife movement near bridges and culverts to improve related conservation investments. *The Nature Conservancy*, Montpelier, 55 p. Disponible en ligne à : https://www.researchgate.net/profile/Paul_Marangelo/publication/322580866_Reducing_Wildlife_Mortality_on_Roads_in_Vermont_Documenting_Wildlife_Movement_near_Bridges_and_Culverts_to_Improve_Related_Conservation_Investments/links/5a60e766aca2723281057405/Reducing-Wildlife-Mortality-on-Roads-in-Vermont-Documenting-Wildlife-Movement-near-Bridges-and-Culverts-to-Improve-Related-Conservation-Investments.pdf.
- [MDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2018. Aires protégées. Terres privées. Disponible en ligne à : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/privé/terres-priv.htm>. [Visité le 2018-09-19].
- MRC MEMPHRÉMAGOG, 2018. Le bon coup de la municipalité d'Austin. Disponible en ligne à : <https://www.mrcmemphremagog.com/coup-de-municipalite-daustin/>. [Visité le 2018-04-07].
- [NEGEC] NEW ENGLAND GOVERNORS AND EASTERN CANADIAN PREMIERS, 2016. Resolution on ecological connectivity, adaptation to climate change and biodiversity conservation. Disponible en ligne à : <https://www.cap-cpma.ca/images/40-3%20Climate%20Change%20EN.PDF>. [Visité le 2018-02-23].
- [NLCD] NATIONAL LAND COVER DATABASE, 2011. 2011 National land cover dataset database for the conterminous United States. Disponible en ligne à : <https://www.mrlc.gov/nlcd2011.php> [Visité le 2018-09-25].
- REINING, C., K. BEASLEY, P. DORAN et C. BETTIGOLE, 2006. From Adirondacks to Acadia: a Wildlands Network design for the greater Northern Appalachians. *Wildlands Project Special Paper No 7*, Richmond, VT, 58 p. Disponible en ligne à : <https://databasin.org/documents/documents/58a0dc5b873d4fc4a431427cb1dc3515/>.
- [SCI] STAYING CONNECTED INITIATIVE, 2016. Wildlife cameras in the Northern Appalachians. Uses and lessons learned. *SCI*, Montréal, 20 p. Disponible en ligne à : <http://stayingconnectedinitiative.org/assets/SCI-Camera-Summit-White-Paper.pdf>.
- [SCI] STAYING CONNECTED INITIATIVE, 2017. Management recommendations for landowners. Sustaining healthy, vibrant lands for people and wildlife. *SCI*, Montréal, 11 p.
- [SCI] STAYING CONNECTED INITIATIVE, 2018. Resources. Disponible en ligne à : <http://stayingconnectedinitiative.org/resources/#articles>. [Visité le 2018-02-23].
- SMITH, Z.P., M. GLENNON, L. KARASIN, S. REED et H. KRETSER, 2012. Protecting wildlife connectivity through land use planning: Best management practices and the role of conservation development. *Wildlife Conservation Society, Adirondack Program Technical Paper No 4*, Saranac Lake, 69 p. Disponible en ligne à : <https://northamerica.wcs.org/About-Us/Publications/Categoryid/163.aspx>.
- ST-PIERRE, D., A. NAPPI, S. DE BELLEFEUILLE, A.-A. LÉVESQUE AUBÉ et S. MARTIN, 2018. La connectivité au-delà des frontières : Résolution 40-3 concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1) : 8-11.
- STEWART, D., 2015. Keeping wildlife on the move. Camera traps help conservationists ensure vital corridors in the Northeast. *National Wildlife Magazine*, June/July Issue. Disponible en ligne à : http://stayingconnectedinitiative.org/assets/National_Wildlife_mag_June_2015.pdf. [Visité le 2018-04-07].
- [TNC] THE NATURE CONSERVANCY, 2012. Northern Appalachian/Acadian ecoregional land cover dataset. Maine Chapter, Brunswick, ME. Disponible en ligne à : <http://www.conservationgateway.org/ConservationByGeography/NorthAmerica/UnitedStates/edc/reportsdata/terrestrial/ecoregional/nap/Pages/default.aspx#maps> [Visité le 2018-09-25].
- [TNC] THE NATURE CONSERVANCY, 2016. Resilient and connected landscapes for terrestrial conservation Dataset. The Nature Conservancy, Eastern Conservation Science, Eastern Regional Office. Boston, ME. Disponible en ligne à : <http://www.conservationgateway.org/ConservationByGeography/NorthAmerica/UnitedStates/edc/reportsdata/terrestrial/resilience/Pages/Downloads.aspx> [Visité le 2018-09-25].
- TROMBULAK, S.C., M.G. ANDERSON, R.F. BALDWIN, K. BEASLEY, J. RAY, C. REINING, G. WOOLMER, C. BETTIGOLE, G. FORBES et L. GRATTON, 2008. The Northern Appalachian/Acadian Ecoregion: priority locations for conservation action. *Two Countries, One Forest/Deux Pays, Une Forêt*, Special Report 1, Middlebury, 58 p. Disponible en ligne à : https://www.researchgate.net/publication/268512683_The_Northern_AppalachianAcadian_Ecoregion_Priority_Locations_for_Conservation_Action.
- [WCS] WILDLIFE CONSERVATION SOCIETY, 2015. Make room for wildlife: A resource for landowners in the Northern Forest. *Wildlife Conservation Society, Adirondack Program, Saranac Lake*, 8 p. Disponible en ligne à : <https://northamerica.wcs.org/About-Us/Publications/Categoryid/163.aspx>.
- WOOLMER, G., S.C. TROMBULAK, J.C. RAY, P.J. DORAN, M.G. ANDERSON, R.F. BALDWIN, A. MORGAN et E.W. SANDERSON, 2008. Rescaling the human footprint: a tool for conservation planning at an ecoregional scale. *Landscape and Urban Planning*, 87 : 42-53.
- [WBCSD] WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2017. Landscape connectivity: a call to action. *WBCSD*, Geneva, Switzerland, 40 p. Disponible en ligne à : https://docs.wbcsd.org/2017/03/WBCSD_Syngenta_LandscapeConn.pdf.

Les changements climatiques attendus et leurs impacts potentiels sur l'écologie routière au Québec

Valérie Bourduas Crouhen, Robert Siron, Hélène Côté, Travis Logan et Isabelle Charron

Résumé

Les changements climatiques auront des répercussions importantes sur l'écologie routière au Québec (Canada). L'augmentation de la température, des précipitations, des périodes de gel et de dégel ainsi que la diminution du couvert de neige sont susceptibles d'engendrer des cascades d'événements sur le système routier et les écosystèmes environnants. L'objectif de cet article est de présenter un portrait de la littérature disponible afin d'illustrer ces changements au Québec, leurs impacts potentiels ainsi que les mesures d'adaptation possibles. Parmi les impacts potentiels des changements climatiques, on compte la prolifération d'espèces exotiques envahissantes en bordure des routes, la fragmentation des habitats ou, encore, une accélération de la dégradation des routes en raison du dégel du pergélisol. La façon de planifier, de concevoir, de construire et d'entretenir le réseau routier, y compris les écosystèmes qui l'entourent, doit donc tenir compte dès à présent de ces impacts potentiels. Cela nécessite de s'appuyer sur les observations du climat passé et sur les projections du climat futur. Une prise de décision éclairée et intégrée est primordiale afin de s'adapter aux conséquences graves des changements climatiques.

MOTS CLÉS: adaptation, changements climatiques, écosystèmes, impacts, écologie routière

Abstract

Climate change will have a significant impact on road ecology in Québec (Canada). Increases in temperature, precipitation and freeze/thaw cycles, and the decrease in snow cover will cause a cascade of events affecting the road network and surrounding ecosystems. This article presents an overview of the available literature illustrating these changes and their potential impacts, as well as possible adaptation measures. Amongst these impacts are the proliferation of invasive alien species along roadsides, habitat fragmentation, and an acceleration of road degradation caused by thawing permafrost. The way in which the road network and surrounding ecosystems are planned, designed, built and maintained needs to take into account the potential impacts of climate change. This requires relying on observations of past climate, and future climate projections. Informed and integrated decision-making is essential to adapt to the serious consequences of climate change.

KEYWORDS: adaptation, climate change, ecosystems, impacts, road ecology

Introduction

Les changements climatiques sont dorénavant indéniables et leurs impacts sur les diverses régions du Québec sont multiples et d'ampleur variable. Il va sans dire que le nord du Québec est affecté différemment du sud ou, encore, de l'est de la province. Cette distinction est importante afin de bien s'adapter aux changements annoncés par les études sur le climat. Plus particulièrement, les gestionnaires du réseau routier québécois, qui couvre un immense territoire, doivent se préparer à faire face à ces changements climatiques. Avec ses 185 000 km de routes gérées par le ministère des Transports (y compris 4 700 ponts et viaducs, 1 200 km de chemins d'accès aux ressources et 3 600 chemins de mine), le réseau routier est un moteur de l'économie québécoise (Gouvernement du Québec, 2018). Il traverse plusieurs types d'écosystèmes et niches bioclimatiques qui sont aussi modifiés par le climat. C'est pourquoi ces éléments sont traités comme un tout sous la thématique de l'écologie routière. L'écologie routière est la science qui étudie les interactions entre les routes (conception, construction, utilisation et entretien) et les écosystèmes qu'elles

traversent, dans le but d'éviter ou d'atténuer les impacts sur ces derniers (Lelièvre, 2018).

Cet article présente une brève synthèse de la littérature disponible sur les vulnérabilités et les impacts potentiels des changements climatiques au Québec ainsi que sur les mesures d'adaptation possibles pour gérer adéquatement les routes et les écosystèmes environnants.

Modéliser le climat pour comprendre le futur

Les projections du climat futur sont réalisées grâce à des modèles climatiques et nous renseignent sur l'évolution possible

Tous les auteurs sont affiliés au consortium Ouranos. Valérie Bourduas Crouhen est spécialiste en vulnérabilités, impacts et adaptation; Robert Siron est coordonnateur en écosystèmes et biodiversité et co-coordonnateur pour l'environnement nordique; Hélène Côté est spécialiste en analyses et en simulations climatiques; Travis Logan est spécialiste en scénarios et services climatiques; Isabelle Charron est responsable du transfert de connaissances.

bc.valerie@ouranos.ca

d'indicateurs du climat pour des horizons aussi lointains que 2100. Les modèles climatiques simulent le système climatique dans le temps. Ils sont constitués d'équations mathématiques, traduisant les principes de la physique et de la chimie, et reproduisent les principaux phénomènes météorologiques, hydrologiques, cryogéniques, lithographiques, océanographiques et biologiques (Ouranos, 2015). Deux principales catégories de modèles sont régulièrement utilisées : les modèles globaux du climat (MGC), dont l'étendue de la grille de calcul couvre l'ensemble du globe, et les modèles régionaux du climat (MRC) qui couvrent seulement une partie du globe, comme c'est le cas pour le modèle régional canadien de climat (MRCC5) qui en est à sa cinquième version (Ouranos, 2015). Dans le cadre d'études de vulnérabilité, d'impacts et d'adaptation aux changements climatiques, il est important d'utiliser plusieurs modèles climatiques, puisque chaque modèle, et type de modèle (MGC ou MRC), a ses forces et ses faiblesses et peut donner des résultats différents; un ensemble composé de plusieurs modèles donne donc des résultats plus fiables (Ouranos, 2015). Afin d'assurer la qualité et le partage des simulations des divers modèles à travers les institutions internationales de recherches, le projet *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) a été initié en 1995. Le projet est maintenant à la cinquième version de cet ensemble de simulations climatiques; c'est pourquoi les données climatiques sont souvent attachées à l'abréviation CMIP5.

En plus des éléments composant le système climatique, les modèles climatiques doivent prendre en compte les concentrations des divers gaz à effet de serre (GES) et des particules fines en suspension dans l'atmosphère appelées aérosols. Pour définir la valeur future de ces concentrations, on utilise des scénarios d'émissions qui décrivent différents futurs plausibles en ce qui a trait aux émissions de GES et d'aérosols. Les scénarios d'émissions dépendent de facteurs démographiques, socioéconomiques et des décisions politiques prises aux échelles locale et internationale. De ce fait, ils sont incertains au point où tenter de choisir le scénario le plus probable est, à ce jour, hasardeux. C'est pourquoi on utilise généralement plusieurs scénarios d'émissions dans l'élaboration de simulations climatiques. Les scénarios utilisés sont ceux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) appelés *Representative Concentration Pathways* (RCP) (van Vuuren et collab., 2011). Les scénarios présentés sont ceux qui permettent d'illustrer ce qui risque de se produire si les dirigeants suivent un scénario plus près de l'Accord de Paris (RCP 4.5 – scénario optimiste), ou s'ils maintiennent le *statu quo* quant aux émissions de GES (RCP 8.5 – scénario pessimiste). Enfin, l'ampleur du changement climatique pour une variable d'intérêt est estimée en calculant la différence entre les statistiques climatiques (comme les moyennes) sur une période future et celles d'une période passée de référence en fonction d'un scénario d'émission. D'une étude à l'autre, la période de référence peut varier en fonction de la disponibilité des données.

Aperçu des changements projetés

Les changements climatiques modifieront plusieurs aspects du système climatique. Les variables climatiques

présentées ici ont été choisies en fonction de leur pertinence pour le système routier et son environnement : la température, les précipitations totales, la neige, les événements de gel et de dégel ainsi que la durée de la saison de gel.

Température

Au sud du Québec et dans la région du golfe du Saint-Laurent, les températures annuelles projetées, selon un scénario de fortes émissions (RCP 8.5), augmenteront d'environ 2 à 4 °C pour la période 2041-2070 et de 4 à 7 °C pour la période 2071-2100, comparativement à la période de référence de 1971-2000. Au centre et dans le nord du Québec, pour la même période de référence, les hausses projetées sont d'environ 3 à 6 °C pour 2041-2070 et de 5 à 10 °C pour 2071-2100 (figure 1). De plus, selon les projections, les températures extrêmes maximales en été augmenteront plus que les températures moyennes estivales. De la même manière, les températures extrêmes minimales en hiver augmenteront plus que les températures moyennes hivernales (Ouranos, 2015).

Précipitations totales

Partout au Québec, les modèles climatiques s'accordent sur des hausses hivernales et printanières des précipitations totales pour la période 2041-2070 en comparaison avec la période 1971-2000, selon le scénario RCP 8.5. Par contre, les projections estivales et automnales sont moins uniformes et présentent des baisses ou des augmentations selon les régions (Ouranos, 2015).

Neige

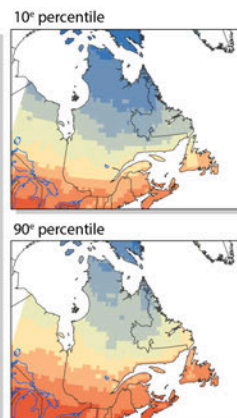
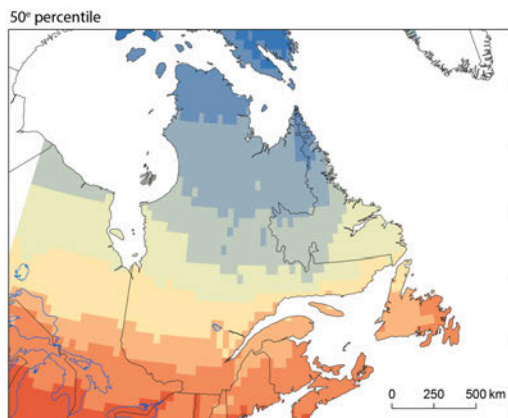
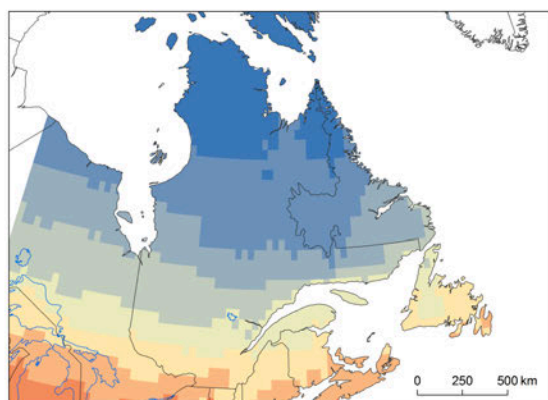
Au Québec, les températures tendent à se réchauffer et les précipitations tendent à augmenter durant la saison froide. La façon dont le couvert de neige réagira aux tendances de ces 2 variables variera selon les régions en fonction de l'altitude, du régime climatique, du type de surface et de la végétation. On peut s'attendre à une diminution de la neige au sol sur presque tout le territoire du Québec pour la période 2041-2070 (figure 2). Les changements du couvert de neige seront particulièrement importants dans le sud du Québec. L'enneigement pour cette région atteindrait dorénavant son maximum en février plutôt qu'en mars, mais avec une accumulation moindre que ce que l'on a connu dans la période 1971-2000 (Ouranos, 2015).

Cycle gel-dégel

Un épisode de gel-dégel est une journée où la température moyenne quotidienne oscille sous et au-dessus de 0 °C en 24 heures. Ces événements entraînent des redoux. Selon les projections, il y aura un déplacement de la saisonnalité des événements. Le nombre d'épisodes de gel-dégel durant les mois d'hiver (décembre-janvier-février) augmenteront, tandis que les épisodes de l'automne et du printemps seront nettement moins nombreux (Logan, 2016). Pour le sud du Québec, le RCP 8.5 prévoit 6 événements de plus durant la saison hivernale pour 2041-2070, et 9 événements de plus pour 2071-2100, par rapport à la période 1976-2005 selon la médiane de 11 scénarios climatiques (Logan, 2016).

Observations : 1971 à 2000 (CRU TS 3.21)

Horizon 2050 : RCP 8.5



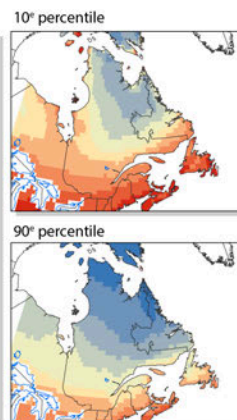
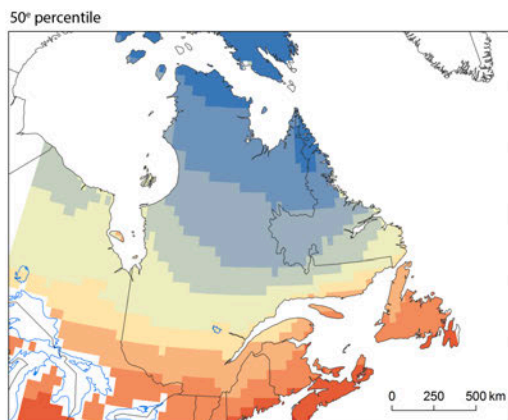
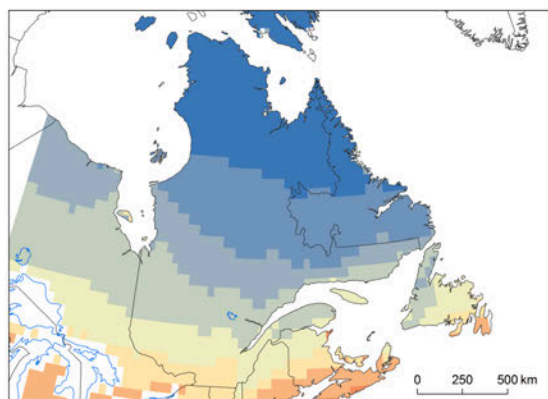
Température à 2 m (°C) : ANN



Figure 1. Températures moyennes annuelles observées pour la période 1971-2000 (panneau de gauche) et projetées pour l'horizon 2050 (2041-2070) (panneaux du centre et de droite). La moyenne observée est calculée à partir des données du *Climatic Research Unit* (Harris et collab., 2014). Les cartes des projections futures présentent la médiane de l'ensemble ainsi que les 10^e et 90^e percentiles de 29 scénarios climatiques futurs. Les scénarios climatiques futurs ont été produits en utilisant des simulations du *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5) et le RCP 8.5 (Ouranos, 2015).

Observations : 1999 à 2010 (IMS)

Horizon 2050 : RCP 8.5



Durée de l'enneigement (jours)

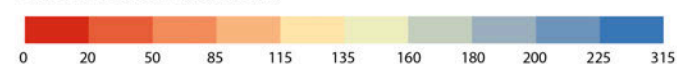


Figure 2. Durée de l'enneigement observée pour la période 1999-2010 (panneau de gauche) et projetée pour l'horizon 2050 (2041-2070) (panneaux du centre et de droite). La moyenne observée est calculée à partir des données du *Ice Mapping System* à une résolution de 24 km (IMS 24) (National Ice Center, 2008). Les cartes des projections futures présentent la médiane de l'ensemble ainsi que les 10^e et 90^e percentiles de 19 scénarios climatiques futurs. Les scénarios climatiques futurs ont été produits en utilisant des simulations du *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5) et le RCP 8.5 (Ouranos, 2015).

Saison de gel

La saison de gel est le nombre de jours entre le premier et le dernier jour de gel. Les projections montrent une forte réduction du nombre annuel de jours de gel. Ainsi, la saison de gel aura tendance à raccourcir, particulièrement dans le nord et au centre du Québec. Le premier gel sera donc plus tardif à l'automne et le dernier gel, plus hâtif au printemps (Ouranos, 2015).

À l'inverse, la saison sans gel et la saison de croissance s'allongeront. Pour le sud du Québec, selon la médiane de 11 scénarios climatiques RCP 8.5, la saison de croissance sera plus longue d'environ 27 jours en 2041-2070 et d'environ 50 jours en 2071-2100, par rapport à la période 1976-2005 (Logan, 2016).

Exemples des impacts potentiels des changements climatiques sur le réseau routier

Les changements climatiques auront des impacts sur la gestion et l'entretien du système routier (Doré et collab., 2014) en plus de conséquences sur les écosystèmes avoisinants, et ce, partout au Québec. Ils influenceront directement la durée de vie et l'usure du réseau routier (tableau 1), mais des modifications aux paysages environnants pourraient également survenir.

Espèces exotiques envahissantes

L'augmentation des températures et des précipitations, en plus de l'allongement de la saison sans gel et de croissance, vont favoriser l'arrivée et la prolifération d'espèces exotiques envahissantes (Smith et collab., 2012). C'est le cas notamment du roseau commun (*Phragmites australis*) et de la renouée japonaise (*Fallopia japonica*), des espèces implantées aux abords des autoroutes du sud de la province et le long du fleuve Saint-Laurent (Groeneveld et collab., 2014; Groupe Phragmites, 2012).

En présence de conditions climatiques plus favorables à la reproduction de ces plantes, les fossés de drainage des routes représentent des voies importantes de dissémination des espèces (Brisson et collab., 2010; Groeneveld et collab., 2014; Groupe Phragmites, 2012; Lelong et collab., 2009; Tougas-Tellier et collab., 2013). Il y a alors un risque de formation de communauté végétale monospécifique au détriment d'une biodiversité plus grande (Mal et Narine, 2004). Il est donc important d'en tenir compte, notamment dans le cas de travaux d'aménagement et d'entretien le long des routes et autoroutes, qui sont susceptibles de perturber les sols et les

habitats naturels et de laisser, ainsi, un terrain dénudé propice aux plantes envahissantes (Tougas-Tellier et collab., 2013).

Fragmentation des habitats

La fragmentation des écosystèmes dans le sud du Québec, résultant des effets cumulatifs du réseau routier, de l'urbanisation et de l'agriculture intensive en combinaison avec la hausse des températures, est susceptible de dégrader les habitats propices à la faune en bordure des routes (Gonzalez et collab., 2013). Cette perte de connectivité écologique, qui a déjà des conséquences négatives importantes pour certaines espèces, pourrait être exacerbée par des changements dans la répartition des espèces au Québec et dans leur capacité à se déplacer en fonction des modifications que subiront leurs niches bioclimatiques (Berteaux et collab., 2014; Gonzalez et collab., 2013).

Exploitation des ressources forestières

Le raccourcissement des hivers ainsi que la réduction du couvert de neige auront des impacts sur l'exploitation de la forêt boréale (Gauthier et collab., 2014). En effet, le transport du bois sur les chemins forestiers, en hiver, pourrait être compromis avec des hivers plus courts, mais également en raison des changements dans le régime des précipitations qui pourraient limiter l'accès aux ressources (Gauthier et collab., 2014). De plus, durant l'été, les travaux en forêts seront limités par les risques de feux de forêt qui sont appelés à augmenter dans le futur à cause des changements climatiques. Ces feux affecteront autant les routes que leur environnement avoisinant et engendreront des risques accrus pour la sécurité publique (Gauthier et collab., 2014).

Tableau 1. Synthèse de certains effets anticipés des changements climatiques sur les chaussées (adapté de Ouranos, 2015).

Causes	Impacts possibles sur les chaussées	Impacts possibles sur les milieux naturels adjacents à la chaussée
Augmentation de la température dans les régions froides et augmentation du nombre de redoux hivernaux	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de l'indice de gel en hiver. • Diminution de la profondeur de gel qui entraîne moins de détérioration des chaussées due au soulèvement par le gel. • Diminution de la fissuration thermique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation du pergélisol et de la stabilité du sol dans le nord du Québec.
	<ul style="list-style-type: none"> • Possible augmentation des dommages dus au dégel partiel des fondations (ornierage ainsi que fissuration et affaiblissement des chaussées). 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des dommages par les chemins forestiers en raison des redoux plus fréquents.
Augmentation des températures chaudes extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des ornières de fluage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la présence d'espèces envahissantes. • Possibilité de sécheresse et de feux de forêt.
Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du niveau de la nappe phréatique provoquant un affaiblissement des couches structurales et diminution de la durée de vie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lessivage plus fréquent des surfaces routières entraînant une contamination des écosystèmes adjacents.
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des pluies extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la teneur en eau dans les sols des chaussées immédiatement après les pluies. • Augmentation de la teneur en eau dans les sols des chaussées et réduction de leur rigidité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la connectivité potentielle des habitats rendant le passage des animaux plus difficile (zones inondées).

Vulnérabilité des infrastructures routières

Au nord du Québec, en raison de la hausse des températures, le dégel du pergélisol et des routes de glace entraîne de graves problèmes d'entretien pour le système routier, mais également une modification importante des habitats et de l'intégrité des écosystèmes adjacents, les écosystèmes nordiques étant déjà très vulnérables aux changements climatiques (Allard et Pollard, 2011; Allard et collab., 2013; Berteaux et collab., 2017).

Partout au Québec, les changements dans les régimes de précipitations pourraient augmenter la contamination des milieux naturels adjacents aux routes en raison du lessivage plus fréquent des résidus, tels que de l'huile ou de l'essence, laissés par le passage des véhicules (Ogden et Innes, 2007).

Dans la région du golfe du Saint-Laurent, une partie du patrimoine bâti et des infrastructures routières côtières est menacée par l'érosion et la submersion marine, en raison de l'augmentation des températures qui joue un rôle important dans la réduction de la présence de glace sur la côte (Savard et collab., 2008; Senneville et collab., 2014). Cela permet alors aux vagues de déferler avec plus d'énergie lors de tempêtes et augmente les dommages aux infrastructures de transport terrestre et maritime, comme les routes côtières, les ports et de nombreux bâtiments commerciaux, en accélérant l'érosion des berges friables et la destruction des écosystèmes côtiers (Circé et collab., 2016; Savard et collab., 2008).

Mesures d'adaptation envisageables

Afin de contrer les impacts potentiels des changements climatiques, il faut s'adapter aux conditions futures anticipées. L'adaptation aux changements climatiques, contrairement à l'adaptation biologique des espèces, est un domaine de recherche qui étudie comment les systèmes existants, naturels et humains, feront face aux changements climatiques et comment prendre en considération les changements climatiques dans le développement durable de la société (Ouranos, 2015). L'adaptation permet la mise en œuvre de mesures qui préviendront ou réduiront les conséquences potentielles des changements climatiques. C'est un processus itératif qui permet des ajustements dans le temps pour composer avec un climat en évolution rapide (Ouranos, 2015). Pour l'écologie routière, des stratégies concertées dans le domaine de l'aménagement du territoire pourraient contribuer à diminuer les vulnérabilités du système routier et de son environnement avoisinant. Pour ce faire, des comportements préventifs doivent être adoptés pour s'assurer que les usagers du réseau routier soient prêts à faire face aux aléas climatiques (Doré et collab., 2014).

En fonction des impacts mentionnés précédemment, certaines mesures d'adaptation sont d'ailleurs déjà mises en œuvre. Par exemple, pour faire face à l'expansion des espèces exotiques envahissantes, des outils ont été développés combinant les modèles climatiques et écologiques pour

assurer le suivi des populations et limiter les possibilités de propagation (de Blois et collab., 2013; Tougas-Tellier et collab., 2013). Plusieurs guides de bonnes pratiques existent et proposent des moyens permettant d'éviter la propagation des espèces exotiques envahissantes d'un milieu à l'autre. Ces bonnes pratiques sont, par exemple, de ne pas laisser des terres dénudées à la suite des interventions en bordure de route, puisqu'elles favorisent l'envahissement potentiel, particulièrement en milieux humides (Tougas-Tellier et collab., 2013). La plantation d'espèces indigènes à croissance rapide avec une certaine diversité fonctionnelle peut contrer l'expansion des espèces envahissantes (Byun et collab., 2018).

Dans la cadre de la mise en œuvre de mesures d'adaptation aux changements climatiques, il faut éviter le piège de la maladaptation. Ce concept désigne la mise en place de mesures inadéquates qui augmentent directement la vulnérabilité à la variabilité et aux changements climatiques (Magnan, 2013; Noble et collab., 2014). Par exemple, lorsqu'une espèce exotique envahit un territoire en raison de températures plus clémentes au Québec, un traitement chimique pour contrer cette invasion éliminera l'espèce, mais dégradera également la qualité et la résilience de l'environnement et posera un risque pour la santé humaine, rendant ainsi le milieu toujours aussi vulnérable aux aléas climatiques (Tougas-Tellier et collab., 2013).

Pour minimiser la fragmentation des habitats, plusieurs outils existent pour appuyer la prise de décision et la planification du territoire en tenant compte des services écologiques provenant des écosystèmes, de leur valeur économique et de leur évolution avec les changements climatiques (Fournier et collab., 2013; Gonzalez et collab., 2013). Le respect des corridors écologiques lors de la conception des routes est une autre mesure bénéfique (Gonzalez et collab., 2013).

La conservation des milieux humides fait aussi partie des mesures à considérer. Ces écosystèmes procurent des services écologiques qui atténuent les impacts des changements climatiques, notamment sur le régime hydrologique, en régulant les crues et les inondations, de même que la rétention d'eau lors des périodes d'étiages (Biron et collab., 2013; Dupras et collab., 2013; Fournier et collab., 2013; Pellerin et Poulin, 2013). La protection des milieux humides contribue également à la connectivité des milieux et au renforcement de la résilience des écosystèmes en limitant les impacts des changements climatiques, dont ceux sur les routes et le milieu environnant.

En milieu forestier, une mesure d'adaptation pertinente serait de limiter la densité des routes permanentes et de réhabiliter les chemins forestiers temporaires à la suite de leur usage (Ogden et Innes, 2007). Ainsi, la plantation d'arbres dans ces chemins temporaires permettrait de favoriser la reprise de la production forestière, de limiter les terrains exposés aux aléas climatiques ainsi qu'au lessivage de sédiments et de limiter les invasions possibles d'espèces envahissantes (Ogden et Innes, 2007). Cependant, dans les endroits où les routes sont essentielles, il faut revoir les standards de construction afin de

s'assurer de limiter leurs impacts sur les cours d'eau, pour conserver l'habitat du poisson, et ce, en fonction des nouveaux régimes de précipitations et de crue (Ogden et Innes, 2007).

Au nord du Québec, des mesures de suivi du pergélisol ont été mises en place afin d'identifier les zones de dégel importantes et ainsi adapter le réseau routier en évitant ces zones plus vulnérables susceptibles à l'affaissement et aux glissements de terrain (L'Héroult et collab., 2013; Ogden et Innes, 2007). Cela a permis de proposer des techniques de construction adaptées pour les terrains aménageables, dont l'adaptation des remblais des routes, qui doivent être conçus pour minimiser l'accumulation de la neige et ainsi réduire son effet isolant sur le pergélisol (Lanouette et collab., 2015). Les travaux effectués au Nunavik indiquent que les pentes douces avec un meilleur drainage favorisent le déplacement de la neige tout en maximisant le refroidissement du pergélisol sous-jacent (Lanouette et collab., 2015). Ces connaissances ont notamment été utilisées pour les pistes d'atterrissage en combinaison avec de nouvelles technologies, comme la mesure de température linéairement distribuée à l'aide de fibre optique pour surveiller l'évolution de la température du sol et capter les premiers signes de dégradation du pergélisol, afin d'intervenir plus rapidement (Gouvernement du Québec, 2017; Roger et collab., 2015).

Pour les milieux côtiers, plusieurs mesures d'adaptation sont possibles afin de protéger les routes et les écosystèmes côtiers. Il peut s'agir, par exemple, de structures côtières rigides (mur et enrochement), mobiles (recharge de plage et dunes végétalisées) ou encore des options sans structure (concentrées sur les actifs à risque et non sur le milieu) (Circé et collab., 2016). Le calcul des coûts et des avantages de ces différentes mesures aide à choisir la solution d'adaptation la plus appropriée selon la situation (Circé et collab., 2016). Ce type de calcul démontre d'ailleurs qu'une structure rigide comme un mur n'est souvent pas la meilleure option d'adaptation (Circé et collab., 2016).

Conclusion

Dans un climat qui change rapidement, les mesures d'adaptation requièrent l'implication de tous les acteurs clés du secteur, autant gouvernementaux que locaux. Ces mesures doivent s'appuyer sur des projections climatiques solides et être mises en œuvre dans une perspective écosystémique, qui considère les besoins du réseau routier ainsi que la nécessité de préserver les milieux naturels qu'il traverse (Torres et collab., 2016), afin de maintenir les services écologiques cruciaux pour l'adaptation aux changements climatiques.

Remerciements

Nous remercions les réviseurs scientifiques et l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leurs précieux commentaires dans l'élaboration de cet article. Une grande majorité des projets cités dans cet article ont été financés par Ouranos par le biais du programme Écosystèmes et Biodiversité en collaboration avec le Fonds vert du gouvernement du Québec ainsi que Ressources naturelles Canada. Les activités d'Ouranos sont financées par le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec. ◀

Références

- ALLARD, M. et W. POLLARD, 2011. Permafrost and climate change in northern coastal Canada. Ouranos, Montréal, 19 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportAllard2011_EN.pdf.
- ALLARD, M., M. LEMAY, C. BARRETTE, E. L'HÉRAULT et D. SARRAZIN, 2013. Le pergélisol et les changements climatiques au Nunavik et au Nunatsiavut : importance en matière d'infrastructures municipales et de transports. Dans : ALLARD M. et M. LEMAY (édit.). Le Nunavik et les Nunatsiavut : de la Science aux Politiques Publiques : Une étude intégrée d'impact régional des changements climatiques et de la modernisation. ArcticNet, Québec, p. 175-199. Disponible en ligne à : http://www.arcticnet.ulaval.ca/pdf/media/iris_report_complete-fr.pdf.
- BERTEAUX, D., N. CASAJUS et S. DE BLOIS, 2014. Changements climatiques et biodiversité du Québec : vers un nouveau patrimoine naturel. Presses de l'Université du Québec, Québec, 240 p.
- BERTEAUX, D., G. GAUTHIER, F. DOMINE, R.A. IMS, S.F. LAMOUREUX, E. LÉVESQUE et N. YOCOZO, 2016. Effects of changing permafrost and snow conditions on tundra wildlife: critical places and times. *Arctic Science*, 3: 65-90. doi:10.1139/as-2016-0023.
- BIRON, P., T. BUFFIN-BÉLANGER, M. LAROQUE, S. DEMERS, T. OLSEN, M.-A. OUELLET, G. CHONÉ, C.-A. CLOUTIER et M. NEEDELMAN, 2013. Espace de liberté : un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques. Ouranos, Montréal, 140 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBironetal2013_FR.pdf.
- BRISSON, J., S. DE BLOIS et C. LAVOIE, 2010. Roadside as invasion pathway for common reed (*Phragmites australis*). *Invasive Plant Science and Management*, 3: 506-514. doi:10.1614/IPSM-09-050.1.
- BYUN, C., S. DE BLOIS et J. BRISSON, 2018. Management of invasive plants through ecological resistance. *Biological Invasions*, 20: 13-27. doi:10.1007/s10530-017-1529-7.
- CIRCÉ, M., L. DA SILVA, U. BOYER-VILLEMAIRE, G. DUFF, C. DESJARLAIS et F. MORNEAU, 2016. Analyse coûts-avantages d'options d'adaptation en zone côtière au Québec - Rapport synthèse. Ouranos, Montréal, 92 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Synthese_Qc.pdf.
- DE BLOIS, S., L. BOISVERT-MARSH, R. SCHMUCKI, C.-A. LOVAT, C. BYUN, P. GOMEZ-GARCIA, R. OTFINOWSKI, E. GROENEVELD et C. LAVOIE, 2013. Outils pour évaluer les risques d'invasion biologique dans un contexte de changements climatiques. Ouranos, Montréal, 80 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportdeBlois2013_FR.pdf.
- DORÉ, G., J.-P. BILODEAU, P.M. THIAM et F. DROLET PERRON, 2014. Impact des changements climatiques sur les chaussées des réseaux routiers québécois. Ouranos, Montréal, 63 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDore2014_FR.pdf.
- DUPRAS, J., J.-P. REVÉRET et J. HE, 2013. L'évaluation économique des biens et services écosystémiques dans un contexte de changements climatiques. Ouranos, Montréal, 218 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportReveret2013_FR.pdf.
- FOURNIER, R., M. POULIN, J.-P. REVÉRET, A. ROUSSEAU et J. THÉAU, 2013. Outils d'analyses hydrologique, économique et spatiale des services écologiques procurés par les milieux humides des basses terres du Saint-Laurent : adaptations aux changements climatiques. Ouranos, Montréal, 114 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportFournier2013_FR.pdf.
- GAUTHIER, S., P. BERNIER, P.J. BURTON, J. EDWARDS, K. ISAAC, N. ISABEL, K. JAYEN, H. LE GOFF et E.A. NELSON, 2014. Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest. *Environmental Reviews*, 22: 256-285. doi:10.1139/er-2013-0064.

- GONZALEZ, A., C. ALBERT, B. RAYFIELD, M. DUMITRU, A. DABROWSKI, E.M. BENNETT, J. CARDILLE et M.J. LECHOWICZ, 2013. Corridors, biodiversité et services écologiques : un réseau écologique pour le maintien de la connectivité et une gestion résiliente aux changements climatiques dans l'ouest des Basses-Terres du Saint-Laurent. *Ouranos*, Montréal, 68 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportGonzalez2014_EN.pdf.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2017. Construction d'habitations au Nunavik : Guide de bonnes pratiques. Société d'habitation du Québec, Québec, 98 p. Disponible en ligne à : <http://www.habitation.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/publications/0000024197.pdf>.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2018. Information sur le réseau routier. Disponible en ligne à : <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/info-reseau-routier/Pages/information-sur-le-reseau-routier.aspx>. [Visité le 2018-02-12].
- GROENEVELD, E., F.Ç. BELZILE et C. LAVOIE, 2014. Sexual reproduction of Japanese knotweed (*Fallopia japonica* S.L.) at its northern distribution limit: New evidence of the effect of climate warming on an invasive species. *American Journal of Botany*, 101 : 459-466. doi:10.3732/ajb.1300386.
- GROUPE PHRAGMITES, 2012. Le roseau envahisseur : la dynamique, l'impact et le contrôle d'une invasion d'envure. *Le Naturaliste canadien*, 136 (3) : 33-39. doi:10.7202/1009238ar.
- HARRIS, I., P.D. JONES, T.J. OSBORN et D.H. LISTER, 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34 : 623-642. doi:10.1002/joc.3711.
- LANOUILLE, F., G. DORÉ, D. FORTIER et C. LEMIEUX, 2015. Influence of snow cover on the ground thermal regime along an embankment built on permafrost: In-situ measurements. 68^e Conférence Canadienne de Géotechnique et 7^e Conférence Canadienne sur le Pergélisol, 20 au 23 septembre 2015, Québec, 7 p. Disponible en ligne à : https://www.researchgate.net/publication/282611662_Influence_of_snow_cover_on_the_ground_thermal_regime_along_an_embankment_built_on_permafrost_in-situ_measurements.
- LELIEVRE, M., 2018. Message des comités de direction et de programmation. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1) : 3-4.
- LELONG, B., C. LAVOIE et M. THÉRIAULT, 2009. Quels sont les facteurs qui facilitent l'implantation du roseau commun (*Phragmites australis*) le long des routes du sud du Québec ? *Écoscience*, 16 : 224-237. doi:10.2980/16-2-3237.
- L'HÉRAULT, E., M. ALLARD, D. FORTIER, A. CARBONNEAU, J. DOYON-ROBITAILLE, M.-P. LACHANCE, M.-A. DUCHARME, K. LARRIVÉE, K. GRANDMONT et C. LEMIEUX, 2013. Production de cartes des caractéristiques du pergélisol afin de guider le développement de l'environnement bâti pour quatre communautés du Nunavik. *Ouranos*, Montréal, 90 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportAllard2013_FR.pdf.
- LOGAN, T., 2016. Portrait des changements climatiques pour les zones urbaines du Québec. *Ouranos*, Montréal, 146 p. Disponible en ligne à : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportLogan2016.pdf>.
- MAGNAN, A., 2013. Éviter la maladaptation au changement climatique. Institut du développement durable et des relations internationales, Policy Brief n° 8, 4 p. Disponible en ligne à : https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/pb0813_am_maladaption.pdf.
- 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. doi:10.4141/P01-172.
- NATIONAL ICE CENTER, 2008. IMS daily Northern Hemisphere snow and ice analysis at 4 km and 24 km resolution. National Snow and Ice Data Center, Boulder, Colorado, USA. Disponible en ligne à : <http://nsidc.org/data/G02156>. [Visité le 2018-02-12].
- NOBLE, I.R., S. HUO, Y.A. ANOKHIN, J. CARMIN, D. GOUDOU, F.P. LANSIGAN, B. OSMAN-ELASHA et A. VILLAMIZAR, 2014. Adaptation needs and options. Dans : FIELD, C.B., V.R. BARROS, D.J. DOKKEN, K.J. MACH, M.D. MASTRANDREA, T.E. BILIR, M. CHATTERJEE, K.L. EBI, Y.O. ESTRADA, R.C. GENOVA, B. GIRMA, E.S. KISSEL, A.N. LEVY, S. MACCRACKEN, P.R. MASTRANDREA et L. L. WHITE (édit.), *Climate change 2014 : Impacts, adaptation and vulnerability. Part A : Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA, Cambridge University Press, p. 833-868. Disponible en ligne à : <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- OGDEN, A.E. et J. INNES, 2007. Incorporating climate change adaptation considerations into forest management planning in the boreal forest. *International Forestry Review*, 9 : 713-733. doi:10.1505/ifer.9.3.713.
- OURANOS, 2015. Vers l'adaptation — Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec - Édition 2015. *Ouranos*, Montréal, 417 p. Disponible en ligne à : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SyntheseRapportfinal.pdf>.
- 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. Centre de la biodiversité du Québec, Québec, 140 p. Disponible en ligne à : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/Analyse-situation-milieux-humides-recommandations.pdf>.
- ROGER, J., M. ALLARD, D. SARRAZIN, E. L'HÉRAULT, G. DORÉ et A. GUIMOND, 2015. Evaluating the use of Distributed Temperature Sensing for permafrost monitoring in Salluit, Nunavik. Dans : 68th Canadian geotechnical conference and 7th Canadian permafrost conference. doi:10.13140/RG.2.1.4273.7365.
- SAVARD, J.-P., P. BERNATCHEZ, F. MORNEAU, F. SAUCIER, P. GACHON, S. SENNEVILLE, C. FRASER et Y. JOLIVET, 2008. Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques : Synthèse des résultats. *Ouranos*, Montréal, 58 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportSavard2008_FR.pdf.
- SENNEVILLE, S., S. ST-ONGE DROUIN, D. DUMONT, M.-C. BIHAN-POUDEEC, Z. BELEMAALEM, M. CORRIVEAU, P. BERNATCHEZ, S. BÉLANGER, S. TOLSZCZUK-LECLERC et R. VILLENEUVE, 2014. Modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques. *ISMER-UQAR, Rimouski*, 384 p. Disponible en ligne à : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1147874.pdf>.
- SMITH, A.L., N. HEWITT, N. KLENK, D.R. BAZELY, N. YAN, S. WOOD, I. HENRIQUES, J.I. MACLELLAN et C. LIPSIG-MUMMÉ, 2012. Effects of climate change on the distribution of invasive alien species in Canada: a knowledge synthesis of range change projections in a warming world. *Environmental Reviews*, 20 : 1-16. doi:10.1139/a11-020.
- TORRES, A., J.A.G. JAEGER et J.C. ALONSO, 2016. Assessing large-scale wildlife responses to human infrastructure development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 : 8472-8477. doi:10.1073/pnas.1522488113.
- TOUGAS-TELLIER, M.-A., J. MORIN, D. HATIN et C. LAVOIE, 2013. Impacts des changements climatiques sur l'expansion du roseau envahisseur dans les frayères du fleuve Saint-Laurent. *Ouranos*, Montréal, 56 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportLavoie2013_FR.pdf.
- VAN VUUREN, D.P., J. EDMONDS, M. KAINUMA, K. RIAHI, A. THOMSON, K. HIBBARD, G.C. HURTT, T. KRAM, V. KREY, J.-F. LAMARQUE, T. MASUI, M. MEINSHAUSEN, N. NAKICENOVIC, S.J. SMITH et S.K. ROSE, 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109 : 5-31. doi:10.1007/s10584-011-0148-z.

Le rôle des infrastructures naturelles pour la gestion des eaux de ruissellement et des crues dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques

Caroline Simard, Chloé L'Ecuyer-Sauvageau, Jean-François Bissonnette et Jérôme Dupras

Résumé

Cet article présente une recension des écrits sur les infrastructures naturelles (IN) comme moyen d'adaptation aux changements climatiques, en prenant pour exemple la gestion des eaux de ruissellement et des crues. Une revue d'études de cas permet d'apprécier le potentiel des IN comme solution de rechange aux approches reposant sur des infrastructures conventionnelles dites grises. En effet, les approches d'aménagement du territoire urbain et périurbain qui intègrent les IN valorisent la production de services écosystémiques afin d'améliorer la résilience des villes et l'adaptation aux changements climatiques, avec comme objectif ultime de trouver des solutions durables et efficaces aux nouvelles conditions climatiques. Cet article propose des balises conceptuelles afin de mieux évaluer le potentiel des IN et la faisabilité de leur mise en œuvre. Nous présentons une revue de cas d'implantation d'IN en regard de leur rapport coût-efficacité, de leur résilience et de leur capacité à concilier des intérêts souvent divergents entre les sphères sociales, économiques et environnementales.

MOTS-CLÉS : coût-efficacité, infrastructures naturelles, inondations, résilience, services écosystémiques

Abstract

This article provides a review of the literature on the use of green (or natural) infrastructures (GIs) as a means of adapting to climate change, using runoff and flood management as examples. An analysis of case studies assesses the potential of GIs to serve as alternatives to methods based on conventional grey infrastructures. Urban planning approaches that integrate GIs, recognise and value ecosystem services as a means of improving urban resilience and adaptation to climate change. The ultimate objective of this approach is to find sustainable and effective solutions to modified climatic conditions. This article proposes a conceptual framework to evaluate the potential of GIs and the feasibility of putting them into practice, and a case study review of the implementation of GIs in terms of their cost-effectiveness, resilience and capacity to reconcile often divergent social, economic and environmental interests is presented.

KEYWORDS: cost-effectiveness, ecosystem services, floods, green infrastructures, resilience

Introduction

Les changements climatiques sont associés, entre autres, à une augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée des événements extrêmes tels que les inondations saisonnières, les épisodes de pluie abondante et de déficit hydrique (Ouranos, 2015). Palmer et collab. (2008) ont estimé que de 365 millions à un milliard de personnes résident sur des territoires à risque qui seront affectés par ces phénomènes. Les milieux bâtis, urbains et périurbains sont particulièrement vulnérables aux événements climatiques extrêmes.

Les intervenants en aménagement du territoire d'Europe et d'Amérique du Nord mobilisent désormais le concept d'infrastructures naturelles (IN) afin de favoriser une meilleure intégration des fonctions écologiques des milieux naturels au sein des territoires urbains et périurbains (Bissonnette et collab., 2018; Dupras et collab., 2015). Le concept d'IN introduit l'idée selon laquelle les villes constituent des écosystèmes qui s'intègrent à une trame verte et bleue devant être protégée et mise en valeur pour assurer la production des services écosystémiques (SÉ) essentiels aux sociétés humaines (Liao, 2012). En remplissant des fonctions écologiques données, les écosystèmes fournissent des SÉ qui

contribuent au bien-être humain. Le potentiel des écosystèmes de fournir des SÉ diffère selon leurs caractéristiques et leur emplacement (Gomez-Baggethun et Barton, 2013). Les milieux humides en milieux urbains constituent des IN efficaces dans la production de SÉ concernant directement la santé et la sécurité humaine. Par exemple, une plaine inondable en région urbaine atténue l'effet des inondations. Plusieurs avantages connexes (ou co-bénéfices) y sont associés: amélioration de la qualité de l'eau, recharge des nappes phréatiques, support pour la vie aquatique et faunique, et possibilités de récréation et de tourisme (Porse, 2014). Cependant, la production de

Caroline Simard est économiste à Ouranos et doctorante à l'Institut des sciences de la forêt tempérée de l'Université du Québec en Outaouais.

simard.caroline@ouranos.ca

Chloé L'Ecuyer-Sauvageau est doctorante à l'Institut des sciences de la forêt tempérée de l'Université du Québec en Outaouais.

Jean-François Bissonnette est professeur adjoint au département de géographie de l'Université Laval.

Jérôme Dupras est professeur au Département des sciences naturelles de l'Université du Québec en Outaouais.

tels services ou avantages est complexe en raison de la forte fragmentation écologique des milieux urbains (Gomez-Baggethun et Barton, 2013).

Il existe encore peu d'études de synthèse (Bowler et collab., 2010; Jaffe, 2010; Kazmierczak et Carter, 2010) sur les diverses expériences d'aménagement des IN ayant eu cours dans les régions urbaines à travers le monde. Nous proposons une telle étude afin d'évaluer le potentiel des IN pour l'adaptation aux changements climatiques.

Malgré l'importance des débats scientifiques entourant la contribution des IN à la résilience¹ des écosystèmes urbains, leur potentiel et la faisabilité de leur mise en œuvre demeurent difficiles à évaluer. Nous avons développé un cadre d'analyse par une revue de la littérature basée sur une analyse thématique dirigée en fonction d'une grille d'analyse composée de trois « codes » ou thèmes (Cresswell, 2006) : 1) résilience, 2) coût-efficacité et 3) conciliation multifonctionnalité/acceptabilité sociale. Afin de préciser le potentiel des IN pour l'adaptation aux changements climatiques, une revue de cas d'implantation d'infrastructures naturelles a été réalisée.

Composer avec des événements climatiques extrêmes

Quelles solutions face au problème des inondations ?

Les événements climatiques extrêmes constituent une préoccupation majeure pour les collectivités. Au Québec, les inondations du printemps 2017 ont illustré clairement les enjeux liés à ces phénomènes². Ces inondations ont été responsables de nombreux dommages aux habitations riveraines et ont forcé l'évacuation de centaines de résidents (CMM, 2017). Face à ce problème, plusieurs solutions existent, celles-ci allant de l'investissement dans les grands ouvrages d'ingénierie tels que les barrages et les digues de retenue, jusqu'à un ensemble de projets valorisant les fonctions des écosystèmes.

L'approche préventive du contrôle des inondations fondée sur un meilleur aménagement écosystémique semble gagner en popularité dans les milieux municipaux. Certains auteurs estiment d'ailleurs que les approches traditionnelles de gestion des eaux basées sur des infrastructures bâties telles que des digues de retenue ne seraient pas économiquement et écologiquement viables (Kline et Cahoon, 2010; Jaffe, 2010). Par exemple, la stabilisation des berges tend à fossiliser les rivières en empêchant le mouvement naturel des canaux et en coupant la connexion entre le cours d'eau et la plaine

inondable (Biron et collab., 2014). De plus, puisque les interventions de contrôle requièrent un entretien régulier et coûteux, plusieurs auteurs mettent en doute cette approche comme stratégie de gestion à long terme (Kline et Cahoon, 2010; Roni et Beechie, 2012).

Les infrastructures naturelles : une approche d'aménagement intégrée

Bien qu'il en existe une variété de définitions, nous retenons que les infrastructures naturelles (IN) sont « un ensemble d'espaces verts et bleus interreliés permettant de préserver la valeur et les fonctions des écosystèmes qui fournissent des bénéfices aux sociétés humaines » (Benedict et McMahon, 2012). Sur le plan de la gestion des eaux de ruissellement, plusieurs infrastructures naturelles permettent d'améliorer la résilience d'un système aux effets de pluies abondantes. Les IN englobent donc autant les plaines inondables que des parcs urbains ou des milieux humides, voire des espaces privés à plus petite échelle tels que les jardins privés et pluviaux, les marais filtrants ou les toits verts (USA-EPA, 2015) (voir tableau 1).

Les IN peuvent figurer au cœur des stratégies de gestion des eaux de ruissellement de type préventive qui s'appuient en grande partie sur la protection, la restauration et le développement des milieux naturels, semi-naturels ou aménagés (Pattison-Williams et collab., 2018). Ces stratégies permettent d'améliorer les fonctions écosystémiques liées à la régulation de l'écoulement des eaux. Leur conception repose sur une meilleure connaissance des écosystèmes, de leurs caractéristiques hydrologiques et des bénéfices que ceux-ci peuvent apporter en ce qui concerne la gestion des eaux de ruissellement et les bénéfices pour la santé et les loisirs.

Les infrastructures naturelles : des solutions d'adaptation pérennes ?

Les solutions face au risque d'inondation sont nombreuses. Il est possible de s'attarder à l'aléa pour diminuer son intensité, ce qui a été la ligne directrice pendant plusieurs années avec des infrastructures lourdes, mais il est aussi possible de s'attarder à la vulnérabilité pour la diminuer également. Les IN semblent faire partie à la fois de la diminution de l'aléa et de la vulnérabilité. Par ailleurs, il est à noter que les IN demandent peu ou pas d'entretien et ont une durée de vie illimitée (USA-EPA, 2015). Les paramètres d'analyse présentés ci-dessous montrent comment elles peuvent constituer des solutions pérennes d'adaptation aux changements climatiques.

Rapport coût-efficacité

Les IN participent au mouvement de la croissance intelligente (*smart growth*) et de l'économie circulaire (Benedict et McMahon, 2012). La planification des IN favoriserait un usage plus efficient³ des ressources matérielles disponibles. À cet égard, des chercheurs ont formulé l'hypothèse selon

1. La résilience est une notion complémentaire à l'adaptation. Conformément à la définition de Berkes et collab. (2007), la résilience est un état qui caractérise l'écosystème et qui traduit la capacité d'absorber une perturbation sans que ses caractéristiques fondamentales en soient changées de façon importante et sans retour. Cette notion, bien qu'apparentée, diffère de l'adaptation qui désigne plutôt une action. La résilience peut favoriser l'adaptation, mais ce n'est pas une condition *sine qua non*.

2. Pour plus de détails sur cet événement d'actualité, vous pouvez consulter la page : <https://ici.radio-canada.ca/sujet/inondations-printemps-2017>.

3. L'usage efficient réfère ici à l'efficacité économique ou allocative (par opposition à l'efficacité technique). Une allocation de ressources est dite économiquement efficiente si l'ensemble des biens et services qui en découlent, y compris les services écologiques, permet d'éviter le gaspillage.

Tableau 1. Typologie des infrastructures naturelles et grises (Bartasaghi Koc et collab., 2017; Cadenasso et collab., 2007; Marino et Lapintie, 2018; Rayfield et collab., 2015; Tzoulas et collab., 2007).

Canopée urbaine	Espaces publics végétalisés	Toits verts	Structures verticales vertes	Gestion des eaux usées	Structures de transport
<ul style="list-style-type: none"> • Rues vertes • Arbres et arbustes de rue • Foresterie urbaine 	<ul style="list-style-type: none"> • Ceintures vertes • Corridors verts • Couvert végétalisé/végétatif • Espaces verts • Espace urbain/public ouvert • Parcs urbains • Structures végétales urbaines • Couvert de sol végétalisé • Bacs publics de végétation • Espaces protégés 	<ul style="list-style-type: none"> • Écotoits • Toits verts (végétalisés) • Toits bleus (pluviaux) • Toits vivants • Jardins de toit 	<ul style="list-style-type: none"> • Biomurs • Façades vertes • Murs verts • Murs vivants • Végétation verticale 	<ul style="list-style-type: none"> • Marais filtrants • Jardins pluviaux • Biorétention • Égouts séparateurs • Égouts pluviaux • Bassins d'eau de pluie • Milieux humides naturels 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaussée perméable • Trottoirs perméables • Saillies de trottoirs végétalisés • Trottoirs surélevés • Terre-plein central végétalisé • Rues vertes et conviviales

laquelle l'aménagement du territoire par la valorisation des fonctions écosystémiques offre un meilleur ratio coût-efficacité (Cerin, 2006). D'un point de vue théorique, si la valeur et les fonctions des infrastructures grises⁴ sont appelées à se déprécier, la valeur et les fonctions des IN s'apprécient dans le temps, puisque le sol et la végétation ont la capacité de se régénérer naturellement (Kline et Cahoon, 2010).

La gestion des événements climatiques extrêmes ne peut plus se faire sans considérer la question des coûts à long terme. De 1970 à 2016, les dédommagements versés dans le cadre du programme fédéral « Accords d'aide financière en cas de catastrophe » ont augmenté de façon importante, passant de 10 millions de dollars pour la période 1970-1995 à 360 millions de dollars pour la période 2011-2016 (SPC, 2017)⁵. Étant donné la nature des risques liés aux inondations, et selon le mode d'indemnisation actuelle, l'intervention après dommages doit être prise en charge par les gouvernements qui ont donc tout intérêt à intervenir en amont pour prévenir les inondations (Sakshi, 2009). Les études de cas tendent à démontrer que les IN ont de meilleurs ratios coût-efficacité pour atténuer les risques d'inondation, surtout lorsqu'on tient compte de leur caractère multiéchelle et multifonctionnel (Demuzere et collab., 2014).

Coûts et avantages des infrastructures naturelles

Plusieurs études de cas sont probantes quant au potentiel de rentabilité des IN comme mesures de prévention des inondations, à condition de considérer l'ensemble des

4. On définit les infrastructures grises en contraste avec la définition des infrastructures vertes. Il s'agit d'ouvrages bâtis traditionnellement pour gérer le déplacement de l'eau en milieu urbain et périurbain et protéger les bâtiments des dommages causés par l'eau. Les égouts pluviaux, les canalisations, les stations de relèvement, la surélévation des trottoirs mais aussi les routes constituent quelques exemples courants.

5. Des causes multifactorielles sont en jeu dans l'augmentation des coûts de dédommagements par personne, dont « l'imprévisibilité croissante, le nombre et la gravité des catastrophes » (SPC, 2014).

coûts. Kousky et collab. (2013) ont constaté que les coûts liés aux exclusions de construction dans la plaine inondable sont inférieurs aux avantages liés à la réduction des dommages potentiels, et qu'ils sont donc rentables pour la société, si les exclusions sont appliquées de façon ciblée et non uniforme, selon les caractéristiques spatiales des terrains. Par ailleurs, Wahlund et collab. (2015) ont pu déterminer que lorsqu'on tient compte des bénéfices environnementaux pour la société, liés notamment à l'amélioration du paysage et de la qualité de l'eau, plusieurs IN utiles pour atténuer les impacts des inondations deviennent plus rentables que les compensations. Cet exemple montre que la considération de la multifonctionnalité des IN dans les évaluations publiques peut modifier le résultat de l'évaluation.

Aménager et préserver les IN pour favoriser la résilience des écosystèmes

La résilience décrit soit la capacité de récupération après un choc, soit une perturbation temporaire, ou encore la capacité d'adaptation à long terme (Begum et collab., 2007). En ce qui concerne la gestion de l'écoulement des eaux, les IN maximisent la résilience de l'écosystème, autant par la capacité à faire face à des inondations saisonnières que celle de maintenir certaines propriétés de base face à des modifications de tendances à plus long terme comme celles qu'impliquent les changements climatiques (Begum et collab., 2007). De plus, les IN favorisent la résilience des écosystèmes urbains dans la mesure où ils améliorent la connectivité écologique d'une mosaïque de milieux naturels ou semi-naturels qui maintiennent les cycles biogéochimiques.

La question de la résilience amène à considérer les interventions d'aménagement qui permettent de préserver en amont les capacités d'un écosystème à répondre aux variations ou aux perturbations. Les écosystèmes valorisés par l'aménagement des IN peuvent fournir un ensemble de SÉ (*bundle*) qui confère à ceux-ci un caractère multifonctionnel

(Berry et collab., 2015). Par exemple, Alves et collab. (2018) soulignent que l'implantation d'un toit vert permet de réduire la consommation en énergie liée à la climatisation et au chauffage et de lutter contre les îlots de chaleur, mais que ce toit vert permet également de fournir un habitat pour la faune et les insectes, d'améliorer la pollinisation, de mettre en contact les humains avec les éléments naturels et de fournir de la biomasse végétale et des biens alimentaires. L'utilisation d'IN pour la gestion de l'eau permet de produire des avantages connexes susceptibles d'améliorer la résilience des écosystèmes et le bien-être des populations et confère un caractère multifonctionnel. Malheureusement, les évaluations économiques négligent souvent l'ensemble des avantages issus d'écosystèmes plus résilients à long terme, car elles peinent à traiter la multifonctionnalité des options d'aménagement. L'approche économique des avantages connexes (Chan et collab., 2011) permet d'évaluer les bénéfices associés aux ensembles de SÉ. Ainsi, les décisions d'aménagement prennent en compte les coûts réels de différentes options d'aménagement.

Conciliation des objectifs sociaux, environnementaux et économiques

La conciliation des objectifs divers dans la mise en œuvre d'infrastructures naturelles soulève nécessairement des enjeux de gouvernance. Dans le cadre de cette étude, la gouvernance est à la fois un cadre décisionnel et une manière de gérer les interactions humaines, que ce soit à l'aide d'institutions formelles ou informelles (Porse, 2013). Le contexte actuel de l'aménagement des IN est caractérisé par une considération accrue des initiatives ascendantes (*bottom-up*) qui s'appuient sur des coalitions entre citoyens et pouvoirs municipaux (Bissonnette et collab., 2018). La difficulté à obtenir une adhésion des propriétaires fonciers concernés ou la perception du public à l'égard de certains projets sont des barrières importantes à l'adoption des projets d'aménagement urbain intégrant des IN (Dhokal et Chevalier, 2016).

Les méthodes traditionnelles de gestion de l'eau sont souvent caractérisées par des modes de gouvernance s'appuyant sur des spécialistes et laissant peu de place à la participation citoyenne (Dhokal et Chevalier, 2016; Matthews et collab., 2015). Les décisions peuvent alors paraître opaques aux yeux du public, ce qui peut nuire à l'adoption de pratiques relatives à la gestion de l'eau chez les citoyens (Cairns et collab., 2016; Matthews et collab., 2015). De plus, l'incongruence trop souvent observée entre les limites administratives et hydrologiques complique la mobilisation des ressources et l'implication citoyenne dans la gestion intégrée de la ressource-eau (Dhokal et Chevalier, 2016). Pourtant, plusieurs cas démontrent l'importance d'assurer la collaboration entre les divers paliers de gouvernance, tout en considérant les compromis potentiels entre les intérêts divergents des groupes d'acteurs souvent hétérogènes: citoyens, investisseurs et groupes environnementaux (Buurman et Padawangi, 2017; Matthews et collab., 2015).

Présentation des cas d'étude

Mesures de restriction de zonage et de conservation

Le bassin versant de la rivière des Outaouais

Dès les années 1950, les régions de l'Outaouais et du Grand Montréal ont rencontré des problèmes liés aux inondations saisonnières à l'image de celles du printemps 2017 dans plusieurs régions du Québec. Plus particulièrement, la décennie 1970 a révélé toute l'acuité du problème des inondations en Outaouais. La rivière des Outaouais présente une forte variabilité de débit⁶, et des inondations ont causé des dommages importants en 1972, 1973, 1974 et 1976. Pour la première fois, en 1974, les gouvernements ont indemnisé les victimes d'inondations de la région, ce qui causa un précédent et les obligea à réitérer ce geste en 1976 (Lamontagne et collab., 1982; Tremblay et collab., 2014).

À la fin des années 1980, Ouellette et collab. (1988) ont analysé un programme de zonage de plaines inondables proposé par la Communauté régionale de l'Outaouais (programme fédéral de cartographie, Convention Canada-Québec) qui consistait à interdire les nouvelles constructions dans une zone jugée trop à risque (récurrence de 0-20 ans) et à encadrer les constructions dans les zones à risque modéré (récurrence de 20-100 ans) (Morissette et collab., 1998). La cartographie des zones à risque et l'implantation du programme de restriction devaient permettre de réduire le montant des compensations versé par le gouvernement en cas de dommage et de financer le programme lui-même. Quatre scénarios y ont été évalués pour 6 municipalités de la région. Ces scénarios tenaient compte de l'impact de la variation du taux d'actualisation, des prévisions de croissance du nombre de propriétés et de la valeur de celles-ci. Les résultats de l'étude ont indiqué que le programme était rentable collectivement, mais que son implantation ne permettait pas au gouvernement de récupérer les sommes investies dans le programme par la réduction des dédommagements à verser.

La décision gouvernementale a donc été d'interdire la construction résidentielle dans la zone inondable à risque élevé (récurrence de 0 à 20 ans), mais de l'autoriser dans la zone inondable à risque faible (récurrence de 20 à 100 ans) (CUO, 2012). Les principes écologiques n'ayant pas été intégrés à cette analyse, il n'a pas été possible d'envisager la résilience à long terme du milieu bâti en fonction de l'évolution des conditions climatiques (Dale et collab., 1998). Cette approche décisionnelle était couramment appliquée aux perturbations irrégulières comme les inondations dites de risque faible. Cet exemple illustre un cas où la solution envisagée se limite à réduire les effets négatifs sur la population en réaction à une crise.

La moraine d'Oak Ridges

L'exemple de la protection de la moraine d'Oak Ridges en Ontario est le pendant conservateur du cas de la

6. Mentionnons que la rivière des Outaouais est très régularisée par des barrages, ce qui en fait un cas d'espèce. Cette particularité a été prise en compte par Tremblay et collab. (2014).

rivière des Outaouais. En 2001, face aux pressions associées à l'urbanisation dans la région de Toronto (McCarthy et collab., 2014), l'aire de conservation de la moraine d'Oak Ridges a été désignée à des fins de conservation (Bradford, 2008; MTRCA, 1980). La moraine couvre un territoire de 190 000 hectares et revêt une haute importance hydrologique et écologique à cause de sa situation géographique à la jonction de plusieurs bassins versants (Chapman et Putnam, 1984; Government of Ontario, 2002). Il s'agit d'une région importante pour la recharge des eaux souterraines (Sharpe et collab., 2004), pour la qualité et la quantité des ressources hydriques à l'échelle locale et régionale, en plus de fournir de nombreux habitats, dont des milieux humides d'importance au niveau provincial.

Selon Bradford (2008), au moment de développer le plan de conservation de la moraine en 2001, les connaissances quant à l'impact de l'urbanisation sur l'hydrologie ne permettaient pas de distinguer entre les usages permis ou interdits sur le territoire. C'est pourquoi les responsables du plan de gestion de la moraine d'Oak Ridges ont plutôt fait valoir le principe de précaution en assurant la protection de l'intégrité de l'écosystème. Les décideurs ont ainsi conservé les fonctions hydrologiques et écologiques de la moraine, maintenant la production de SÉ pour la région selon McCarthy et collab. (2014). Ces mêmes auteurs relatent que, bien qu'initiée par des décideurs provinciaux et régionaux, la conservation de ce milieu a été soutenue par la population. Cet exemple démontre l'importance de la gouvernance locale pour répondre à des préoccupations citoyennes, ainsi qu'une certaine complémentarité entre les approches de gouvernance ascendante (*bottom-up*) et descendante (*top-down*). Cette approche de protection des IN s'est effectuée en amont d'un problème, en réponse à une pression perçue par un ensemble de parties prenantes.

Approches de gestion des eaux de ruissellement

Le système de tarification des eaux pluviales de la ville de Victoria

Au début des années 2000, la ville de Victoria, en Colombie-Britannique, a amorcé des discussions afin de revitaliser son système d'égout datant d'avant 1920 et en mauvais état. Après la tenue de consultations, un modèle de gestion des eaux de ruissellement a été finalisé en 2014. Ce modèle inclut la création d'un nouveau tarif « eaux pluviales » pour les usagers, assorti d'un crédit de taxes pour les bonnes pratiques volontaires, le tout mis en application en 2016. Les lignes ci-dessous expliquent en quoi ces mesures auraient favorisé la prévention des inondations et une réduction de la pollution de l'eau (City of Victoria, 2018).

Ce tarif « eaux pluviales », une écotaxe, permet d'internaliser les coûts associés à de mauvaises pratiques de gestion des eaux pluviales en incitant les propriétaires à des comportements plus respectueux de l'environnement. Par exemple, en liant une portion de la taxe foncière à des caractéristiques des résidences et du quartier qui ont

un impact sur la gestion de l'eau (p. ex. une forte part de structures imperméables sur la propriété ou dans la rue ou une densité d'habitations plus faible), les citoyens sont encouragés à choisir des infrastructures à faible impact. Le crédit de taxation pour l'adoption volontaire de pratiques de gestion des eaux pluviales telles que les barils de pluie, les structures d'infiltration, les jardins de pluie, le pavé perméable, les toits verts et les rigoles de drainage (City of Victoria, 2018; Sewell et Roueche, 1974) vient encourager les bons comportements. Ce type d'approche de gestion responsabilise les citoyens par rapport à leur gestion des eaux de ruissellement en leur offrant des incitatifs financiers. De plus, le fait d'inciter l'adoption d'IN à faible impact permet d'élargir le champ d'action de la ville aux terrains privés, contribuant ainsi à une meilleure gestion intégrée de la ressource-eau.

Le plan d'infrastructures vertes de la ville de New York

La ville de New York, située à la confluence d'écosystèmes terrestres et estuariens, a fait des progrès importants pour améliorer la qualité de ses écosystèmes en fournissant une large variété de SÉ urbains. Elle compte le plus grand nombre de parcs publics aux États-Unis et environ 21 % de la ville est recouvert par une canopée.

Parmi les éléments clés pour expliquer ces réalisations, Elmquist et collab. (2013) proposent le Plan d'Infrastructures Vertes de la ville de New York (*NYC Green Infrastructure Plan*). En privilégiant des approches multi-objectifs (toits bleus, rues vertes, béton poreux et lots vacants), ce plan annonce des investissements de 2,4 milliards de dollars américains sur 20 ans et devrait réduire de 5,7 milliards de litres par année le volume des eaux de surverse (*CSO: combined sewer overflow*). La ceinture bleue de Staten Island, un des plus grands systèmes de gestion des eaux pluviales aux États-Unis (avec une superficie de 4 856 hectares de cours d'eau et de milieux humides), illustre l'importance des IN dans la ville. Gumb et collab. (2008) ont estimé que la ceinture bleue aurait capté 40 % des charges de nitrates et ainsi permis d'économiser près de 80 millions de dollars américains par rapport au recours à des infrastructures traditionnelles.

Contrairement à la ville de Victoria, la ville de New York appuie activement les IN publiques pour la gestion de ses eaux de ruissellement, sans négliger les initiatives privées. Cette approche permet d'adopter une vision globale de la gestion des eaux de ruissellement, dans la mesure où l'adoption de pratiques s'inscrit dans une organisation du territoire qui favorise les fonctions écosystémiques. Elle va au-delà d'une approche comme celle de la ville de Victoria, fondée sur les seuls avantages d'un crédit de taxation récompensant un comportement ciblé. Par contre, dans les deux cas, l'éducation et la sensibilisation de la population à l'importance des IN en milieu urbain sont de mise pour assurer une continuité dans l'adoption de bonnes pratiques et pour s'assurer de l'acceptabilité sociale de tels types d'action.

Conclusion

Au regard de l'adaptation aux changements climatiques, l'usage des IN permet d'améliorer les pratiques d'aménagement face aux risques accrus posés par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes. Lorsqu'on les compare aux infrastructures grises, les IN permettent de maximiser la production de services écosystémiques et d'avantages connexes reliés aux milieux naturels, tout en favorisant une gestion préventive en amont des problèmes liés aux inondations. Contrairement aux infrastructures grises, les IN remplissent d'autres fonctions écologiques et socioéconomiques, ce qui leur confère une meilleure résilience et un caractère adaptatif (Elmqvist et collab., 2013).

Selon les milieux et les contextes, un ensemble de solutions complémentaires doit être mis en place, qu'elles impliquent des IN ou des infrastructures grises. Notre analyse démontre la pertinence de considérer le rapport coût-efficacité, la résilience et la multifonctionnalité des IN dans la gestion de l'écoulement des eaux et la prévention des inondations. Cependant, comme le démontre notre recension de cas d'implantation des IN, l'ensemble de ces facteurs est rarement considéré au moment de la mise en œuvre des actions. En effet, les mesures appliquées varient selon le contexte et dépendent fortement de facteurs contingents locaux qui s'appuient sur des dynamiques de gouvernance propres au contexte. Quoi qu'il en soit, de nombreux cas d'implantation des IN fournissent des exemples éloquentes et des leçons essentielles.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les organisateurs et les participants des événements suivants : le « Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques » (2017) et le « Sommet sur les infrastructures naturelles du Grand Montréal » (2016) pour avoir alimenté la réflexion au sujet de cet article. Ils tiennent également à souligner l'apport des réviseurs anonymes qui, par leurs commentaires judicieux, ont bonifié significativement cet article. Cette recherche a bénéficié du soutien financier de Génome Canada et Génome Québec (10512), dans le cadre du projet *Algal Blooms, Treatment, Risk Assessment, Prediction and Prevention Through Genomics* (ATRAPP) et de l'appui du Conseil de recherche en sciences humaines du Canada (435-2017-1078). ◀

Références

- ALVES, A., J. PATINO GOMEZ, Z. VOJINOVIC, A. SANCHEZ et S. WEESAKUL, 2018. Combining co-benefits and stakeholders perceptions into green infrastructure selection for flood risk reduction. *Environments*, 5(29):1-23.
- BARTESAGHI Koc, C., P. OSMOND et A. PETERS, 2017. Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies, *Urban Ecosystems*, 20:15-35.
- BEGUM, S., M. J. STIVE et J.W. HALL (édit.), 2007. Flood risk management in Europe: Innovation in policy and practice. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol. 25, Édition Springer Science & Business Media, Dordrecht, 534 p.
- BENEDICT, M.A. et E.T. MCMAHON, 2012. *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Island Press, Washington, 320 p.
- BERKES, F. 2007. Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking, *Natural Hazards*, 41: 283-295.
- BERRY, P.M., S. BROWN, M. CHEN, A. KONGOIANNI, O. ROWLANDS, G. SIMPSON et M. SKOURTOS, 2015. Cross-sectoral interactions of adaptation and mitigation measures. *Climatic Change*, 128: 381-393.
- BIRON, P.M., T. BUFFIN-BÉLANGER, M. LAROCQUE, G. CHONÉ, C.-A. CLOUTIER, M.-A. OUELLET, S. DEMERS, T. OLSEN, C. DESJARLAIS et J. EYQUEM, 2014. Freedom space for rivers: a sustainable management approach to enhance river resilience. *Environmental management*, 54: 1056-1073.
- BISSONNETTE, J.F., J. DUPRAS, C. MESSIER, M. LECHOWICZ, D. DAGENAIS, A. PAQUETTE, J. JAEGER et A. GONZALEZ, 2018. Moving forward in implementing green infrastructures: Stakeholder perceptions of opportunities and obstacles in a major North American metropolitan area. *Cities*, 81: 61-70.
- BRADFORD, A., 2008. Water policy for ecosystem integrity: Oak Ridges Moraine Conservation Plan, Ontario, Canada. *Water International*, 33: 320-332.
- BUURMAN, J. et R. PADAWANGI, 2017. Bringing people closer to water: integrating water management and urban infrastructure. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60: 1-18.
- CADANESSO, M., S.T.A. PICKETT et K. SCHWARTZ, 2007. Spatial heterogeneity in urban ecosystems: Reconceptualizing land cover and a framework for classification. *Frontiers in Ecology and the environment*, 5: 80-88.
- CAIRNS, S., P. ARROS et S.J. O'NEILL, 2016. Incenting the Nature of Cities: Using financial approaches to support green infrastructure in Ontario. *Sustainable Prosperity*, Ottawa, 34 p.
- CERIN, P., 2006. Bringing economic opportunity into line with environmental influence: A discussion on the Coase theorem and the Porter and van der Linde hypothesis. *Ecological Economics*, 56: 209-225.
- CHAN, K., L. HOSHIZAKI et B. KLINKENBERG, 2011. Ecosystem services in conservation planning: Targeted benefits vs. co-benefits or costs? *PLoS ONE* 6 (9): e24378.
- CHAPMAN, L.J. et D.F. PUTNAM, 1984. *The physiography of southern Ontario*, 3e édition, Toronto: Ontario Geological Survey, Ottawa, 270 p.
- CITY OF VICTORIA, 2018. Stormwater management in Victoria. Engineering Department. Disponible en ligne à : http://www.victoria.ca/assets/Departments/Engineering~Public~Works/Images/Stormwater/SW_General_Fact%20Sheet-%20final.pdf. [Visité le 2018-08-07].
- [CMM] COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE MONTRÉAL, 2017. Commission de l'aménagement. Portrait des inondations printanières de 2017 sur le territoire métropolitain, du cadre légal et des règles applicables en matière d'aménagement, de développement du territoire pour les plaines inondables. Volets 1 et 2 du mandat sur les inondations printanières de 2017, septembre 2017. Disponible en ligne à : http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/documents/20170915. [Visité le 2018-08-07].
- CRESSWELL, J., 2006. *Qualitative inquiry and research design: choosing among five approaches*, 2e édition, Sage Publication, Thousand Oaks, 416 p.
- [CUO] COMMUNAUTÉ URBAINE DE L'OUTAOUAIS, 2012. Schéma d'aménagement révisé de la Communauté urbaine de l'Outaouais, Service de la planification, adopté par le conseil de la C.U.O. le 14 octobre 1999, Entrée en vigueur le 5 janvier 2000, Compilation administrative au 15 juin 2012, 268 p.
- DALE, V.H., A.E. LUGO, J.A. MACMAHON et S.T. PICKETT, 1998. Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances. *Ecosystems*, 1 (6): 546-557.
- DEMUZERE, M., K. ORRU, O. HEIDRICH, E. OLAZABAL, D. GENELETTI, H. ORRU, A.G. BHAVE, N. MITTAL, E. FELIU et M. FAEHNLE, 2014. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146: 107-115.
- DHAKAL, K.P. et L.R. CHEVALIER, 2016. Urban stormwater governance: the need for a paradigm shift. *Environmental management*, 57: 1112-1124.
- DUPRAS, J., C. DROUIN, P. ANDRÉ et A. GONZALEZ, 2015. Towards the establishment of a green infrastructure in the region of Montreal (Quebec, Canada). *Planning Practice and Research*, 30: 355-375.

- ELMQVIST, T., M. FRAGKIAS, J. GOODNESS, B. GÜNERALP, P.J. MARCOTULLIO, R.I. McDONALD, S. PARNELL, M. SCHEWENIUS, M. SENDSTAD, K.C. SETO et C. WILKINSON (édit.), 2013. *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment*. Springer Netherlands, Dordrecht, 755 p.
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E. et D.N. BARTON, 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86: 235-245.
- GOVERNMENT OF ONTARIO, 2002. Oak Ridges Moraine conservation plan. Disponible en ligne à : <http://www.mah.gov.on.ca/AssetFactory.aspx?did=11177>. [Visité le 2018-08-07].
- GUMB, D., J. GARIN, S. MEHROTRA et B. HENN, 2008. Watershed approach to integrating green and hard infrastructure: New York City's Staten Island Bluebelt. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2008 (6): 951-958.
- ICI RADIO-CANADA, 2017. Classés dans deux zones inondables, des sinistrés sont toujours dans l'incertitude, d'après un reportage de Florence Ngué-No, ICI Ottawa-Gatineau, 2 septembre 2017. Disponible en ligne à : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1053710/maisons-zones-inondables-0-20-100-ans-sinistres-confusion-indemnisation-reconstruction-gatineau>. [Visité le 2018-08-07].
- KLINE, M. et B. CAHOON, 2010. Protecting river corridors in Vermont. *Journal of the American Water Resources Association*, 46 (2): 227-236.
- KOUSKY, C., S.M. OLMSTEAD, M.A. WALLS et M. MACAULEY, 2013. Strategically placing green infrastructure: cost-effective land conservation in the floodplain. *Environmental science & technology*, 47 (8): 3563-3570.
- LAMONTAGNE, M., L. ROY, L. OUIMET et G. CAVADIAS, 1982. *Projet d'ouvrage de contrôle sur la rivière des Mille Îles: rapport d'enquête et d'audience publique*. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, Québec, 167 p.
- LANTHIER, C. et J. BERGERON, 2017. Zones inondables: une grande réflexion s'amorce. Radio-Canada. Disponible en ligne à : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1034266/reflexions-zones-inondables-gatineau>. [Visité le 2018-08-07].
- LIAO, K.H., 2012. A theory on urban resilience to floods—a basis for alternative planning practices. *Ecology and Society*, 17 (4): 48.
- MARINO, M. et K. LAPINTIE, 2018. Exploring the concept of green infrastructure in urban landscape. Experiences from Italy, Canada and Finland. *Landscape Research*, 43: 139-149.
- MATTHEWS, T., A.Y. LO et J.A. BYRNE, 2015. Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners. *Landscape and Urban Planning*, 138: 155-163.
- MCCARTHY, D., G. WHITELAW, F. WESTLEY, D. CRANDALL et D. BURNETT, 2014. The Oak Ridges Moraine as a social innovation: strategic vision as a social-ecological interaction. *Ecology and Society*, 19 (1): 48.
- METROPOLITAN TORONTO AND REGION CONSERVATION AUTHORITY, 1980. *Watershed plan*. Disponible en ligne à : <http://trca.on.ca/trca-user/uploads/WatershedPlan.pdf>. [Visité le 2018-08-07].
- MORISSETTE, P., P. OUELLETTE, N. EL-JABI, D. LEBLANC et J. ROUSSELLE, 1988. An economic assessment of the flood-plain zoning program in the Outaouais region, Série scientifique no 161, Environnement Canada, Sainte-Foy, 38 p. Disponible en ligne à : http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/En36-502-161-eng.pdf. [Visité le 2018-03-07].
- OUELLETTE, P., D. LEBLANC, N. EL-JABI et J. ROUSSELLE, 1988. Cost-benefit analysis of flood-plain zoning. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114 (3): 326-334.
- OURANOS, 2015. *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*, Édition 2015, Montréal, 415 p.
- PALMER, M.A., D.P. LETTENMAIER, N.L. POFF, S.L. POSTEL, B. RICHTER et R. WARNER, 2009. Climate change and river ecosystems: protection and adaptation options. *Environmental management*, 44: 1053-1068.
- PATTISON-WILLIAMS, J.K., J.W. POMEROY, P. BADIOU et S. GABOR, 2018. Wetlands, flood control and ecosystem services in the Smith Creek Drainage Basin: A case study in Saskatchewan, Canada. *Ecological Economics*, 147: 36-47.
- PORSE, E., 2014. Risk-based zoning for urbanizing floodplains. *Water science and technology*, 70: 1755-1763.
- RAYFIELD B., J. DUPRAS, X. FRANCOEUR, M. DUMITRU, D. DAGENAIS, J. VACHON, A. PAQUETTE, M. LECHOWICZ, C. MESSIER et A. GONZALEZ, 2015. *Les infrastructures vertes: un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Montréal*. Fondation David Suzuki, 498 p. Disponible en ligne à : <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/infrastructures-vertes-outil-dadaptation-aux-changements-climatiques-grand-montreal/>.
- RONI, P. et T. BEECHIE (édit.), 2012. *Stream and watershed restoration: A guide to restoring riverine processes and habitats*. John Wiley & Sons, New Jersey, 332 p.
- SAKSHI, V., 2009. Catastrophic risk and insurance. *Management et Avenir*, 7: 225-240.
- SEWELL, W.D. et L. ROUECHE, 1974. Peak load pricing and urban water management: Victoria, BC, a case study. *Natural Resources Journal*, 14: 383-400.
- SHARPE, D., A. PUGIN et S. PULLAN, 2004. Regional unconformities and the sedimentary architecture of the Oak Ridges Moraine area, southern Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41 (2): 183-198.
- [SPC] SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA, 2014. *Rapport sur les plans et les priorités 2014-2015*, Gouvernement du Canada. Disponible en ligne à : <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/rprt-plns-prrts-2014-15/index-fr.aspx?wbdisable=true>. [Visité le 2018-03-07].
- [SPC] SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA, 2017. *Évaluation 2016-2017 des Accords d'aide financière en cas de catastrophe*. Disponible en ligne à : <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/rcvr-dsstr/dsstr-fnncl-sstnc-rrngmnts/index-fr.aspx>. [Visité le 2018-03-07].
- TREMBLAY, L., J. DROLET, A. BOUTIN, D. BROUILLETTE, D. CLOUTIER, E. DUFRESNE-ARBIQUE, I. JALBERT, A.-M. LAPOINTE, J. LEVASSEUR et G. MARQUIS, 2014. *Diagnostic de la zone de gestion intégrée de l'eau par bassins versants du COBAMIL*. Conseil des bassins versants des Milles-Îles (COBAMIL), Sainte-Thérèse, 184 p.
- TZOULAS, K., K. KORPELA, S. VENN, V. YLI-PELKONEN, A. KAZMERCZAK, J. NIEMELA et P. JAMES, 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81: 167-178.
- [USA-EPA] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2015. *Green infrastructure opportunities that arise during municipal operations*. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds National Estuary Program. Disponible en ligne à : <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015>. [Visité le 2018-03-07].
- VILLE DE GATINEAU, 2007. *Zones à risque d'inondation et territoire assujéti au processus de détermination des zones à risque d'inondation (carte), Règlement de zonage 502-25-2007*, Gatineau, 1 p. Disponible en ligne à : http://www.gatineau.ca/docs/guichet_municipal/urbanisme_habitation/reglements_urbanisme/pdf/reglement_zonage/R_0502_25_2007.pdf. [Visité le 2018-08-07].
- VILLE DE GATINEAU, 2015. *Schéma d'aménagement et de développement révisé de la Ville de Gatineau, Règlement n° 2050-2015*, p. 8-123. Disponible en ligne à : https://www.gatineau.ca/docs/guichet_municipal/urbanisme_habitation/revision_schema_aménagement_developpement/documents_references/20131002_saddr.fr-CA.pdf. [Visité le 2018-08-07].
- WAHLUND, N., L. FLORES, J. REYNEVELD, J. STONE, A. LULLOFF et D. FOWLER, 2015. Advancing environmental benefits in benefit-cost analysis at the local level: FEMA Policy Impacts in Southern Wisconsin. *Earth Economics, Tacoma*, 45 p.

Identification et protection des corridors naturels de part et d'autre de l'autoroute 10 (Estrie et Montérégie Est) et amélioration de sa perméabilité faunique: premiers résultats

Caroline Daguet et Mélanie Lelièvre

Résumé

L'autoroute 10 fragmente les milieux naturels des montagnes Vertes du Nord, un segment des Appalaches du sud du Québec. L'objectif de Corridor appalachien et ses partenaires est de maintenir ou de restaurer la connectivité des habitats de part et d'autre de cet élément de fragmentation. L'approche multiple retenue pour y parvenir passe d'abord par l'identification des corridors naturels de part et d'autre de l'autoroute 10 et des passages à aménager afin d'en améliorer la perméabilité faunique. Le protocole, la collecte de données et les premières analyses vers une telle identification ont été respectivement élaborés et réalisés en partenariat avec des acteurs des domaines de la recherche et de la conservation, ainsi que des représentants des ministères provinciaux concernés. Elle implique également une concertation indispensable avec les instances municipales et les groupes de conservation locaux afin de maintenir ou de restaurer la connectivité écologique, en protégeant les milieux naturels dans les corridors identifiés. Cette approche multidisciplinaire et des partenariats solides sont essentiels à l'atteinte de résultats concrets dans l'amélioration de la sécurité routière, de la perméabilité faunique de l'autoroute 10 et de la protection de la connectivité écologique du territoire pour le maintien de la biodiversité et l'adaptation aux changements climatiques.

MOTS-CLÉS: connectivité écologique, conservation, corridors naturels, partenariats, passages fauniques

Abstract

Highway 10 in southern Québec (Canada) fragments natural habitats in the northern portion of the Green Mountains, which form part of the Appalachian chain. The objective of Appalachian Corridor and its partners is to maintain or restore habitat connectivity on both sides of this element of fragmentation. The multipronged approach chosen to achieve this first involves identifying the natural corridors on both sides of Highway 10, and the passages that need to be improved to increase wildlife permeability. The protocol, data collection and initial analyses were developed and conducted in partnership with research and conservation stakeholders, as well as with representatives from the relevant provincial ministries. The approach also involves crucial consultations with municipal authorities and local conservation groups to maintain or restore ecological connectivity through adequate protection of the natural environment within the identified corridors. This multidisciplinary approach, coupled with the development of strong partnerships, are essential for achieving solid results that improve road safety and wildlife permeability along Highway 10, and that protect the ecological connectivity of the area for biodiversity and facilitate its adaptation to climate change.

KEYWORDS: conservation, ecological connectivity, natural linkages, partnerships, wildlife crossings and passages

Introduction

Le sud du Québec abrite la biodiversité la plus riche de la province et est soumis aux pressions anthropiques les plus intenses; comme c'est le cas ailleurs dans le monde, les activités humaines ont entraîné des pertes et des modifications d'habitats et ont fortement fragmenté le paysage, notamment à cause de l'agriculture, des coupes forestières, des réseaux routiers et de l'urbanisation (Berteaux et collab., 2014; Brabec et Smith, 2002; Fahrig, 2003; Serrano et collab., 2002; St-Laurent et collab., 2009; Tardif et collab., 2005; van Bohemen, 2004). L'établissement d'un réseau d'aires protégées représentatif joue un rôle vital dans la conservation de cette biodiversité, alors que le maintien de la connectivité écologique représente un élément critique dans l'adaptation des espèces et des écosystèmes aux changements climatiques (Berteaux et collab., 2014; Gratton et collab., 2011).

Le sud du Québec est principalement de tenure privée, et les efforts de protection des milieux naturels et de maintien (ou de restauration) de la connectivité écologique sont répartis entre les différents ordres de gouvernement et le milieu communautaire, grâce entre autres aux initiatives de conservation volontaire (RMN, 2013). Corridor appalachien fait partie intégrante de ce mouvement, en tant qu'organisme de conservation d'envergure régionale dont la mission est de protéger les milieux naturels et la biodiversité des Appalaches

Caroline Daguet, biologiste, et Mélanie Lelièvre, directrice générale, travaillent pour l'organisme de conservation Corridor appalachien.

caroline.daguet@corridorappalachien.ca

melanie.lelievre@corridorappalachien.ca

du sud du Québec. Par le biais d'une stratégie de conservation transfrontalière, cet organisme de bienfaisance procure aux collectivités des Cantons-de-l'Est les moyens de maintenir et de restaurer un milieu de vie qui respecte l'écologie de la région dans une perspective de développement durable (Gratton, 2012; Gratton et Hone, 2006). Depuis 15 ans, Corridor appalachien offre une assistance technique, des conseils et de l'expertise aux organismes de conservation, aux partenaires et aux intervenants qui partagent sa vision.

Description de l'aire d'étude

Le territoire sur lequel œuvre Corridor appalachien comprend un segment de la chaîne des Appalaches qui chevauche la frontière canado-américaine (figure 1). Au

Vermont, ce segment correspond aux montagnes Vertes qui s'étendent au sud jusqu'au mont Mansfield et au Camel's Hump; au Québec, les montagnes Vertes s'étendent jusqu'au nord du mont Orford, dans le secteur de Richmond. Ce segment particulièrement névralgique a été identifié comme l'un des liens critiques pour le maintien de la connectivité écologique à l'échelle de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie par l'organisme transfrontalier Deux pays, une forêt (Anderson et collab., 2006; Gratton et Bryant, 2012) ainsi que par l'initiative Staying Connected (Gratton et Levine, 2018).

Le territoire d'action de Corridor appalachien chevauche la région de l'Estrie, qui compte près de 93 % de terres privées (CRRNT de l'Estrie, 2010), et celle de la Montérégie Est, qui en compte 97 % (CRRNT Montérégie Est,

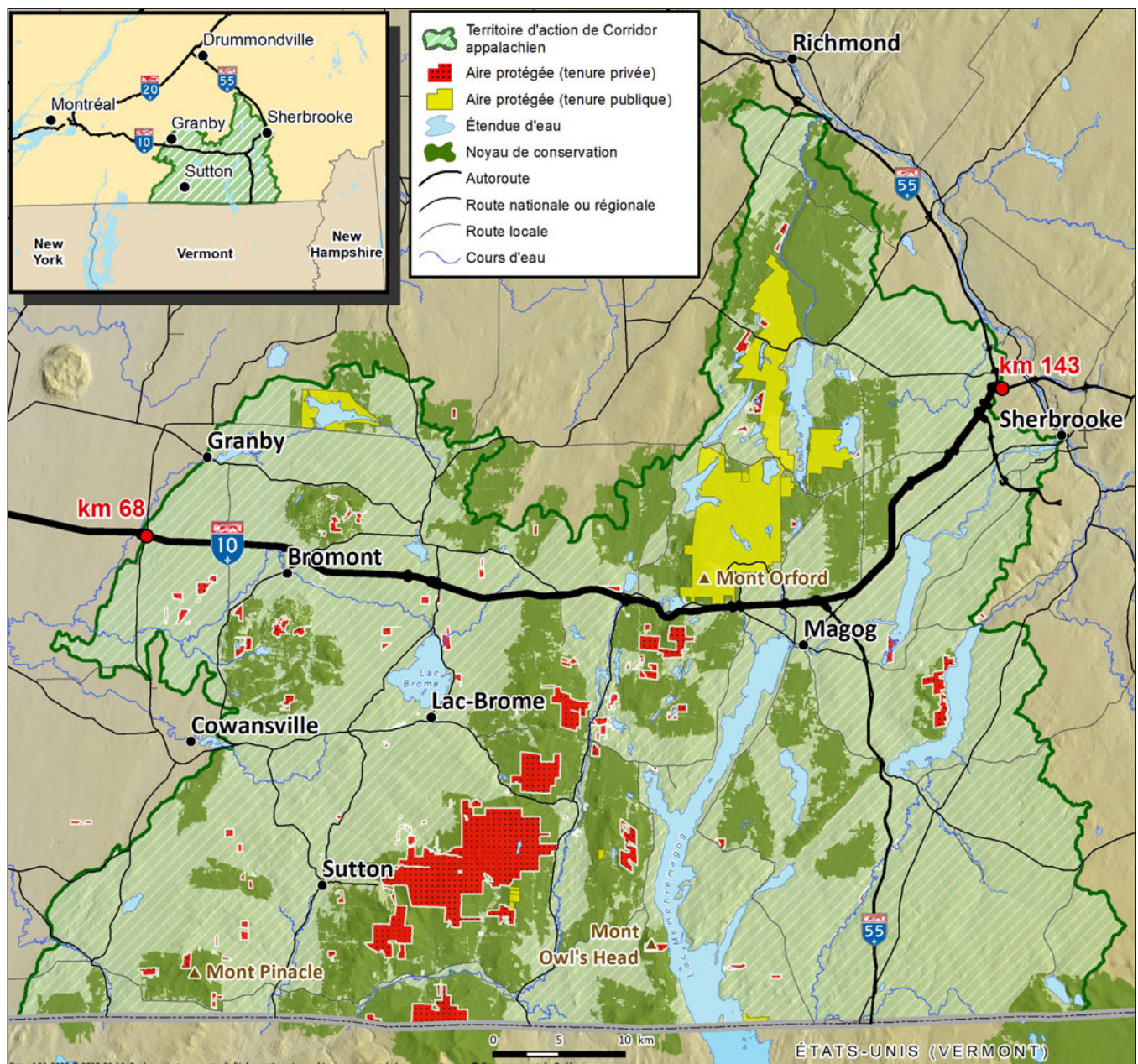


Figure 1. Noyaux de conservation, aires protégées et fragmentation du territoire à l'étude par l'autoroute 10 (kilomètres 68 à 143).

2010). Les partenaires de l'organisme œuvrant dans le domaine de la conservation volontaire sur ce territoire comprennent un groupe travaillant à l'échelle nationale, Conservation de la nature Canada (CNC), ainsi que 15 groupes de conservation locaux également membres affiliés de Corridor appalachien. À titre d'exemple, les territoires d'action de Conservation Espaces Nature Shefford, la Société de conservation du mont Brome, l'Association de conservation de la nature de Stukely-Sud, Renaissance lac Brome, Conservation des vallons de la Serpentine et Memphrémagog Conservation inc., sont tous partiellement adjacents à l'autoroute 10.

Problématique

Les perturbations anthropiques modifient la distribution et le comportement de diverses espèces animales (Bennet, 1991; Forman et collab., 2003; Jackson et Fahrig, 2011). Le réseau routier est une des perturbations les plus répandues dans le paysage habité de l'Amérique du Nord (Trombulak et Frissell, 2000). En effet, les routes sont l'une des causes majeures de la fragmentation d'habitats autrefois contigus; elles font barrière au déplacement de la faune et limitent l'accès aux ressources situées de part et d'autre (Bennet, 1991; Forman et collab., 2003; Lesmerises et collab., 2013).

La stratégie de conservation transfrontalière de Corridor appalachien se base sur la protection de noyaux de conservation (c'est-à-dire de grands massifs forestiers peu ou non fragmentés comme celui des monts Sutton), l'établissement de zones tampons autour de ces noyaux, ainsi que le maintien de corridors naturels assurant la connectivité écologique entre eux (Gratton, 2002). S'appuyant sur les travaux d'Anderson (1999) puis d'Anderson et collab. (2006), Corridor appalachien a identifié les massifs forestiers de plus de 10 km² sur son territoire d'action (figure 1), soit des noyaux de conservation suffisamment grands pour permettre une résilience aux perturbations naturelles qui se déroulent dans la forêt appalachienne et pour maintenir les populations viables de nombreuses espèces animales qui dépendent de ces milieux naturels¹. Les premiers travaux d'identification des corridors naturels reliant ces noyaux sur le territoire d'action de l'organisme ont permis de dresser un portrait général afin de planifier et de prioriser les actions de conservation (Robidoux et Bouthot, 2011; Robidoux et Guérin, 2010). Cependant, en ce qui concerne la fragmentation majeure induite par l'autoroute 10 sur ce territoire (entre les kilomètres 68 et 143 – voir figure 1), la planification, la conception et l'aménagement de structures spécifiques visant à améliorer la sécurité routière et la perméabilité faunique de cette autoroute requièrent un travail d'identification des corridors naturels et

des passages fauniques (existants ou à aménager) à une échelle plus fine.

Une fois ces corridors naturels identifiés, leur protection pose des défis particuliers. Les gains des 20 dernières années en conservation volontaire sur ce territoire ont permis de protéger les milieux naturels de propriétés privées surtout situés dans les noyaux de conservation (figure 1), c'est-à-dire hors des secteurs habités et loin des grands axes routiers. La protection des corridors naturels de part et d'autre de l'autoroute 10 nécessitera l'acquisition de terres ou la conclusion d'ententes dans les vallées habitées et à proximité des principaux axes routiers, sur des lots de plus grande valeur marchande que ceux protégés jusqu'à maintenant par Corridor appalachien et ses partenaires de la conservation (Desjardins, 1992). Par ailleurs, le Canada fait partie des 165 pays ayant ratifié la Convention sur la diversité biologique qui vise à augmenter à 17 % d'ici 2020 la superficie des zones terrestres protégées (Gouvernement du Québec, 2011). L'atteinte de cet objectif dans le sud du Québec nécessitera un meilleur maillage entre les actions des différents ordres de gouvernement et celles du mouvement de la conservation volontaire (Caron, 2006; Lelièvre, 2012).

Méthodologie

Identification des corridors naturels et des passages fauniques

Corridor appalachien a sollicité la participation de partenaires clés afin d'établir conjointement un protocole d'identification et de protection des corridors naturels et des passages fauniques, applicable partout au Québec et dont les étapes sont illustrées à l'aide du cas spécifique de l'autoroute 10 entre les kilomètres 68 et 143 (Gratton, 2014). Ce protocole est donc le fruit de réflexions, d'échanges et de partage d'expertise entre Corridor appalachien, le ministère des Transports du Québec (MTQ), le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et l'Université de Sherbrooke.

Les objectifs de cet exercice conjoint sont : 1) d'améliorer la sécurité routière des usagers et de réduire la mortalité routière de la faune (c'est-à-dire de diminuer les collisions véhicules-faune); 2) de faciliter le déplacement de la faune entre les habitats et les populations fauniques; et 3) de maintenir la connectivité écologique pour une meilleure adaptation aux changements climatiques.

Les principales étapes de ce protocole sont présentées dans le tableau 1. Les meilleures options pour l'adaptation des structures en place ou pour la création de nouvelles structures au sein des corridors et des passages fauniques identifiés pourront ensuite être analysées en vue de protéger ces zones névralgiques.

Protection des corridors naturels

Clevenger et collab. (2010) ont défini le maintien des milieux naturels en place de part et d'autre d'une autoroute comme l'un des cinq éléments essentiels à l'identification des

1. Les travaux d'Anderson (1999) et d'Anderson et collab. (2006) se basent notamment sur des données de viabilité d'espèces ou de communautés d'espèces ciblées, ainsi que sur des analyses spatiales d'occurrence et de répartition de ces espèces et communautés, de données biophysiques sur les écosystèmes étudiés à l'échelle de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie, et de données sur la résilience des écosystèmes aux principales perturbations naturelles pouvant affecter les milieux naturels.

Tableau 1. Principales étapes du protocole d'identification et de protection des corridors naturels et des passages fauniques (extrait de Gratton, 2014).

Étape	Sous-étape	Description
1		Définition de l'aire d'étude
2		Récolte des données existantes
3		Identification des espèces cibles
4		Identification des noyaux ou des habitats à relier
5	a	Inventaires complémentaires et interprétation de données
	b	Identification des sites à potentiel d'amélioration de la sécurité
	c	Inventaires fauniques
	d	Évaluation et caractérisation des viaducs et ponceaux existants
	e	Caractérisation du contexte paysager
6		Analyses de connectivité et de corridors de moindre coût
7		Validation sur le terrain
8		Sélection finale des corridors et des passages fauniques

tronçons prioritaires pour la mise en place de mesures efficaces d'atténuation d'impacts sur les mouvements fauniques. Selon Apps et collab. (2007), le maintien de la connectivité doit donc résulter d'efforts concertés et urgents de la part de l'ensemble des intervenants concernés. Au Québec, Boucher et Fontaine (2010) reconnaissent le rôle grandissant du milieu municipal dans la protection des milieux naturels et de l'environnement, et affirment que l'évolution de nos territoires doit viser un équilibre entre la protection et le développement. Dans cette optique, Corridor appalachien s'est inspiré de l'approche du Wildlife Conservation Society Adirondack Program, et a adapté au contexte québécois la brochure Make Room for Wildlife (Karasin et collab., 2013). La résultante, intitulée « Cohabiter avec la nature! » (Corridor appalachien, 2015), est un guide que l'organisme diffuse aux municipalités, aux municipalités régionales de comtés (MRC) et aux citoyens, afin de les sensibiliser à la prise en compte de la protection de certains éléments naturels dans leurs schémas d'aménagement, plans d'urbanisme et règlements municipaux.

En parallèle, les efforts de conservation de Corridor appalachien et de ses partenaires se concentrent dans les corridors naturels identifiés. Les démarches permettant de mener à bien les projets de conservation suivent les principes du Guide des bonnes pratiques en intendance privée du Centre québécois de droit de l'environnement (Girard et Thibault-Bédard, 2016), ainsi que les grandes étapes présentées par Monahan et Hone (2010), c'est-à-dire: 1) l'évaluation préliminaire des projets et le démarchage auprès des propriétaires; 2) les étapes communes à l'ensemble des options

de conservation (par exemple: vérification du rapport de titres du notaire ainsi que du plan d'arpentage, et évaluation de la juste valeur marchande); et 3) les étapes spécifiques à la négociation, à la rédaction et à la signature des différents types d'ententes de conservation (y compris l'acquisition des pleins titres). Les projets de conservation menés par Corridor appalachien dépendent notamment d'une étroite collaboration avec ses membres affiliés, qui entretiennent un lien direct avec les communautés locales de leurs territoires d'action respectifs. Le partenariat avec CNC s'avère particulièrement précieux dans plusieurs projets et l'engagement de nombreux bailleurs de fonds est également indispensable au succès de l'ensemble des initiatives de conservation.

Premiers résultats

Identification des corridors naturels et des passages fauniques

Les partenaires se sont entendus sur les étapes 1 et 3 du protocole, ont mis en commun les données déjà disponibles (étapes 2 et 4) et se sont réparti la mise en œuvre des étapes restantes. Ainsi, en 2014 et en 2015, Corridor appalachien et le MFFP ont formé les patrouilleurs du MTQ à identifier les carcasses d'animaux, particulièrement celles des espèces cibles (orignal [*Alces americanus*], cerf de Virginie [*Odocoileus virginianus*], ours noir [*Ursus americanus*], lynx roux [*Lynx rufus*], coyote [*Canis latrans*], pékan [*Martes pennanti*], martre d'Amérique [*Martes americana*], loutre de rivière [*Lontra canadensis*] et vison d'Amérique [*Neovision vison*]), afin que des données plus précises de mortalité routière animale puissent être collectées sur le tronçon de l'autoroute 10 entre les kilomètres 68 et 143 (étape 5a). À l'hiver 2014-2015, le MFFP a procédé à des survols en hélicoptère afin de trouver les aires d'hivernage de l'orignal et du cerf de Virginie de part et d'autre de l'autoroute 10 (étape 5b). Corridor appalachien a procédé à des analyses préliminaires de corridors de moindre coût (étape 6) (Robidoux, 2015; Robidoux et Guérin, 2010), a validé deux de ces corridors préliminaires sur le terrain (étape 7) (Daguet et Robidoux, 2015; Robidoux, 2015), puis a évalué et caractérisé des viaducs et ponceaux existants dans les tronçons de l'autoroute 10 traversés par les corridors préliminaires ainsi que dans une zone tampon de 1 km de chaque côté de ceux-ci (Daguet, 2015).

Dans le cadre d'un projet de maîtrise avec l'Université de Sherbrooke, Salvant (2017) a compilé les données collectées par l'ensemble des partenaires (étape 2). Grâce à une analyse multicritère (méthode adaptée de Clevenger et collab., 2010), Salvant (2017) a identifié quatre secteurs prioritaires entre les kilomètres 74 et 121 de l'autoroute 10 sur lesquels concentrer les inventaires fauniques sur le terrain (figure 2) et, éventuellement, les mesures d'atténuation d'impacts les plus appropriées. Une première étude, menée dès 2016 en partenariat avec l'Université Concordia, visait à identifier les mouvements fauniques de part et d'autre de structures ciblées (ponceaux, ponts, etc.) au sein de ces secteurs prioritaires. Ainsi, 36 caméras à déclenchement automatique ont été installées sur 9 structures

ciblées (5 ponceaux, 2 ponts pour voies ferrées et 2 ponts pour routes secondaires) (LoScerbo et collab., soumis). De septembre 2016 à août 2017, 1378 individus provenant de 10 espèces de mammifères de grande et moyenne taille ont été détectés près des structures suivies, dont 6 espèces cibles (cerf de Virginie, ours noir, lynx roux, coyote, pékan et vison d'Amérique) (LoScerbo et collab., soumis). Malgré le petit nombre de structures suivies au cours de cette première étude ($n = 9$), quelques observations peuvent être intéressantes à noter. Par exemple, les 5 ponceaux suivis ont révélé la présence du cerf de Virginie, mais un seul ponceau a permis des traversées réussies de l'espèce, et ce, en été seulement, lorsque le niveau d'eau était au plus bas et découvrait un passage à sec temporaire dans la structure. Par ailleurs, la plus grande diversité d'espèces a été observée aux deux passages ferroviaires sous l'autoroute. Ces 2 sites présentent néanmoins des caractéristiques différentes (figure 3) : le premier (figure 3a) est un tunnel relativement sombre avec un substrat de roches concassées, peu propice au déplacement des ongulés (taux de traversées réussies du cerf de Virginie de 77,8 %, et ce, en hiver seulement, lorsque le sol était couvert de neige), alors que le second (figure 3b) est un double viaduc très lumineux avec une bande de végétation naturelle de part et d'autre de la voie ferrée (taux de traversées réussies du cerf de Virginie de 91,8 %). Les deux ponts construits au-dessus de routes secondaires ont révélé des résultats très différents en raison de l'intensité de l'activité humaine sur ces routes. Le premier pont (figure 3c) n'a révélé aucune présence ni traversée animale, mais une activité humaine importante avec le passage de 234 véhicules par jour en moyenne. Le deuxième pont (figure 3d), avec un taux d'activités humaines nettement moins élevé (30 passages de véhicules par jour en moyenne) a notamment révélé la présence et les traversées du cerf de Virginie (taux de traversées réussies de 78,6 %), du coyote et du lynx roux, ainsi que de nombreux rats-laveurs (*Procyon lotor*), une espèce non ciblée (LoScerbo et collab., soumis).

Protection des corridors naturels

Depuis 2014, Corridor appalachien et ses partenaires de conservation concentrent leurs efforts sur la protection de milieux naturels dans plusieurs corridors (identifiés à l'étape 6), particulièrement ceux situés de part et d'autre des secteurs prioritaires de l'autoroute 10 identifiés par Salvant (2017). Ainsi, en date de mars 2018, 3 projets de conservation ont été conclus dans ou à proximité de ces corridors (en partenariat avec Conservation des vallons de la Serpentine et la Société de conservation du mont Brome). D'autres projets sont bien avancés sur 5 propriétés, et des actions de démarchage se déroulent avec 17 propriétaires privés de ce secteur.

Par ailleurs, de 2015 au début 2018, près de 20 rencontres ont été organisées avec les municipalités adjacentes à l'autoroute 10, et des conférences ont été données lors de différents événements régionaux. Ces rencontres ont été déterminantes dans le cheminement amorcé par plusieurs municipalités vers la prise en compte des éléments naturels

critiques de leur territoire. La municipalité d'Austin a été la première à prendre des mesures concrètes en ce sens, avec l'adoption en 2016 d'un plan d'urbanisme révisé et d'un règlement de zonage visant spécifiquement la protection du corridor faunique entre les monts Chagnon et Orford. Ce règlement établit une protection accrue du couvert forestier et des milieux humides dans les zones de connectivité, ainsi que des normes adaptées pour l'implantation de clôtures (Maillé et Nicholson, 2018).

Les trois MRC du territoire d'action de Corridor appalachien ont, elles aussi, été rencontrées et des discussions se poursuivent.

Discussion et prochaines étapes

Le vaste projet d'identification et de protection des corridors naturels et des passages fauniques de part et d'autre de l'autoroute 10 sur le territoire d'action de Corridor appalachien se poursuit.

En ce qui concerne le volet d'identification des corridors naturels et des passages fauniques (existants ou à améliorer), les travaux amorcés par l'Université Concordia se poursuivront jusqu'en 2019 afin de mieux évaluer et décrire le lien entre les activités humaines et l'utilisation faunique des structures routières suivies. De plus, un projet de maîtrise, initié à la fin de 2017, visera à augmenter le nombre de structures suivies (notamment pour les mammifères de petite et de moyenne taille) et à quantifier la présence animale de part et d'autre de l'autoroute 10 dans les secteurs prioritaires, en amont de mesures d'adaptation aux structures existantes envisagées par le MTQ.

Afin de bien orienter les travaux envisagés pour l'amélioration de la sécurité routière, la réduction de la mortalité de la faune et l'amélioration de la perméabilité faunique de l'autoroute 10, des rencontres sur le terrain permettront à l'ensemble des partenaires concernés d'échanger et de bien visualiser les enjeux et contraintes associés à l'adaptation de structures existantes et à l'installation de nouvelles structures. La compagnie privée responsable de l'emprise de la voie ferrée sera également sensibilisée aux mesures susceptibles d'améliorer la perméabilité faunique du tunnel ferroviaire.

En ce qui concerne le volet de protection des corridors naturels et de maintien de la connectivité écologique, les efforts concertés des groupes de conservation devraient s'intensifier au cours des prochaines années. Il sera important de bien sensibiliser les différents bailleurs de fonds à l'importance de ces projets, afin d'accroître leur adhésion à ceux-ci.

La poursuite des démarches amorcées auprès des instances municipales représentera également un élément clé de la réussite du projet, puisque les groupes de conservation ne pourront procéder à l'acquisition ou à la protection de toutes les terres situées dans les zones de connectivité. Ces démarches représentent un travail de longue haleine. Elles nécessiteront un investissement continu ainsi qu'une mobilisation importante des ressources.

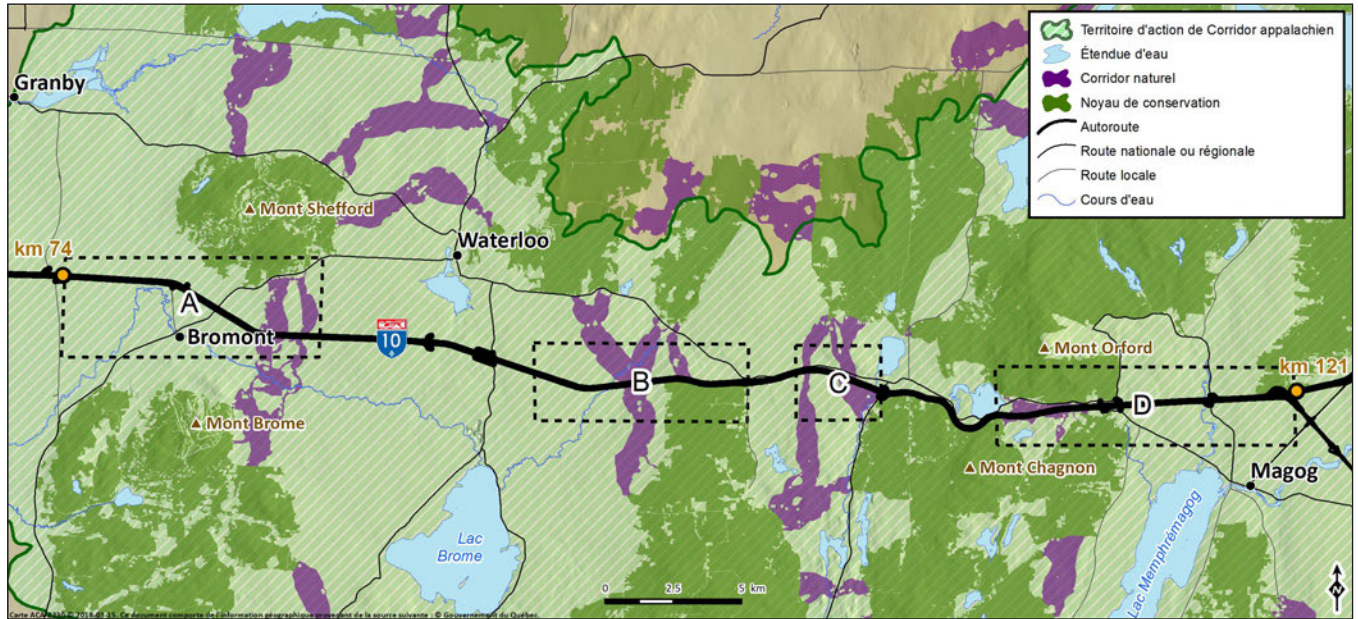


Figure 2. Secteurs prioritaires (A – D) pour l’amélioration de la sécurité routière et de la perméabilité faunique de l’autoroute 10 (kilomètres 74 à 121) (adapté de Salvant, 2017).

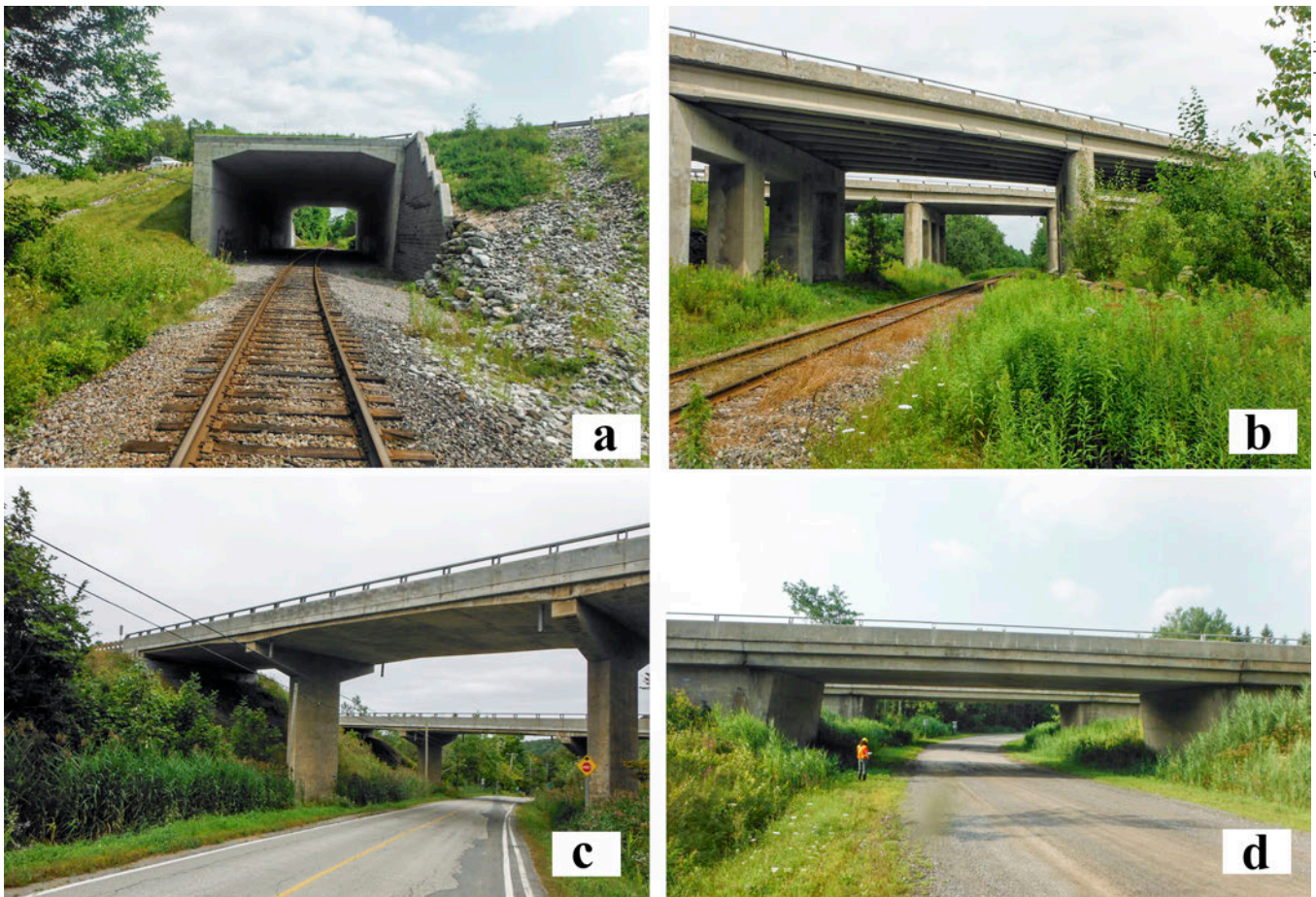


Figure 3. Ponts ferroviaires (a et b) et ponts au-dessus de routes secondaires (c et d) ayant fait l’objet d’études fauniques.

Conclusion

Une approche multidisciplinaire et des partenariats efficaces sont essentiels pour atteindre des résultats concrets pour identifier et protéger des corridors naturels et des passages fauniques (existants ou à aménager) de part et d'autre de l'autoroute 10, entre les kilomètres 68 et 143. Le chemin parcouru est encourageant, et le succès des prochaines étapes dépendra du maillage étroit entre les partenaires, du partage d'expertise par les différents intervenants et d'une volonté politique de reconnaître les paysages et la riche biodiversité de la région, mais aussi de saisir les occasions d'innover que représente ce projet.

Remerciements

L'équipe de Corridor appalachien remercie le MTQ (notamment Yves Poulin, Michel Michaud, Julie Boucher, Nathalie Lemay, Marc Bouchard et l'équipe des patrouilleurs de la direction régionale de l'Estrie); le MFFP (notamment Éric Jaccard); l'Université de Sherbrooke (notamment Jérôme Théau et Farah Salvant); l'Université Concordia (notamment Jochen A. G. Jaeger et Daniella LoScerbo); la municipalité d'Austin; la Fondation ÉCHO, la Fondation de la faune du Québec et le gouvernement du Canada dans le cadre du programme Éco-Action. Les auteures remercient les réviseurs de la première version de cet article, dont Johannie Martin, Martin-Hugues St-Laurent et toute l'équipe du *Naturaliste canadien*. ◀

Références

- ANDERSON, M.G., 1999. Viability and spatial assessment of ecological communities in the Northern Appalachian Ecoregion. Thèse de doctorat, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, 224 p. Disponible en ligne à : <https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3101&context=dissertation>. [Visité le 2018-02-20].
- ANDERSON, M.G., B. VICKERY, M. GORMAN, L. GRATTON, M. MORRISON, J. MAILLET, A. OLIVERO, C. FERREE, D. MORSE, G. KEHM, K. ROSALSKA, S. KHANNA et S. BERNSTEIN, 2006. The Northern Appalachian/Acadian Ecoregion: Ecoregional Assessment, Conservation Status and Resource CD. The Nature Conservancy, Eastern Conservation Science et The Nature Conservancy of Canada: Atlantic and Quebec regions, Boston, 34 p.
- APPS, C.D., J. L. WEAVER, B. BATEMAN, P.C. PAQUET et B.N. MCLELLAN, 2007. Carnivores in the southern Canadian Rocky Mountains: core areas and connectivity across the Crowsnest Highway. Wildlife Conservation Society Canada Conservation Report N° 2, Toronto, 109 p.
- BENNETT, A.F., 1991. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. Dans : SAUNDERS, D.A. et R.J. HOBBS (édit.). Nature conservation 2: The role of corridors. Surrey Beatty, Chipping Norton, p. 99-117.
- BERTEAUX, D, N. CASAJUS et S. DE BLOIS, 2014. Changements climatiques et biodiversité du Québec: vers un nouveau patrimoine naturel. Presses de l'Université du Québec, Québec, 170 p.
- BOUCHER, I. et N. FONTAINE, 2010. La biodiversité et l'urbanisation – Guide des bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable. Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation territoriale du Québec, coll. Planification territoriale et développement durable, 178 p.
- BRABEC, E. et C. SMITH, 2002. Agricultural land fragmentation: the spatial effects of three land protection strategies in the eastern United States. Landscape and Urban Planning, 58 (2-4) : 255-268.
- CARON, J., 2006. La conservation des milieux naturels en Estrie. Essai de maîtrise présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement (CUFE), Université de Sherbrooke, Sherbrooke, xii + 82 p.
- CLEVENGER, A.G., C. APPS, T. LEE, M. QUINN, D. PATON, D. POULTON et R. AMENT, 2010. Highway 3: Transportation Mitigation for Wildlife and Connectivity. Final Report. Western Transportation Institute, Montana State University, Bozeman, xii + 124 p.
- CORRIDOR APPALACHIEN, 2015. Cohabiter avec la nature! Guide pour les urbanistes, aménagistes et communautés locales des Appalaches du sud du Québec. Corridor appalachien, Eastman, 8 p. Disponible en ligne à : http://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/Cohabiter_avec_la_nature_WEB.pdf. [Visité le 2018-02-20].
- [CRRNT Montérégie Est] COMMISSION RÉGIONALE SUR LES RESSOURCES NATURELLES ET LE TERRITOIRE DE LA MONTÉRÉGIE EST, 2010. Plan régional de développement intégré des ressources naturelles et du territoire (PRDIRT) – Synthèse du document préliminaire déposé pour avis d'approbation et d'adhésion. Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire de la Montérégie Est, Cowansville, 12 p. Disponible en ligne à : <https://www.youscribe.com/catalogue/documents/education/cours/crrnt-commission-regionale-sur-les-ressources-naturelles-et-le-1411706>. [Visité le 2018-09-17].
- [CRRNT de l'Estrie] COMMISSION RÉGIONALE SUR LES RESSOURCES NATURELLES ET LE TERRITOIRE DE L'ESTRIE, 2010. Portrait de la forêt naturelle et des enjeux écologiques de l'Estrie. Plan régional de développement intégré des ressources naturelles et du territoire (PRDIRT). Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire de l'Estrie, Sherbrooke, iv + 105 p. Disponible en ligne à : http://creestrie.qc.ca/wp-content/uploads/2010/08/CRRNT_PRDIRT_foret_publicque_Estrie_aout2010.pdf. [Visité le 2018-09-17].
- DAGUET, C., 2015. Rapport sur l'identification des corridors fauniques de part et d'autre de l'autoroute 10 — Phase II. Corridor Appalachien, Eastman, 47 p.
- DAGUET, C. et C. ROBIDOUX, 2015. Caractérisation détaillée du corridor naturel reliant les monts Orford et Chagnon. Corridor appalachien, Eastman, 44 p. + annexes.
- DESJARDINS, J.-G., 1992. Traité de l'évaluation foncière. Éditions Wilson & Lafleur Ltée, Montréal, 566 p.
- FAHRIG, L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 34: 487-515.
- FORMAN, R.T.T., D. SPERLING, J.A. BISSONNETTE, A.P. CLEVENGER, C.D. CUTSHALL, V.H. DALE, L. FAHRIG, R. FRANCE, C.R. GOLDMAN, K. HEANUE, J.A. JONES, F.J. SWANSON, T. TURRENTINE et T.C. WINTER, 2003. Road Ecology: Science and Solutions. Island Press, Covelo, 504 p.
- GIRARD, J.-F. et P. THIBAUT-BÉDARD, 2016. Guide des bonnes pratiques en intendance privée. 3^e édition. Centre québécois de droit de l'environnement, Québec, 1010 p.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2011. Orientations stratégiques du Québec en matière d'aires protégées. Le Québec voit grand. Période 2011-2015. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 8 p. Disponible en ligne à : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/orientations-strateg2011-15.pdf. [Visité le 2018-09-17].
- GRATTON, L., 2002. Le projet du Corridor appalachien. Une stratégie de conservation transfrontalière. Le Naturaliste canadien, 127 (1) : 100-105.
- GRATTON, L., 2012. Corridor appalachien: 10 ans de conservation. Le Naturaliste canadien, 136 (3) : 40-48.
- GRATTON, L., 2014. Protocole d'identification des corridors et passages fauniques. Étude de cas: l'autoroute 10 entre les km 68 et 143. Corridor appalachien, Eastman, 55 p. Disponible en ligne à : http://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/protocole_corridors_fauniques_aut10.pdf. [Visité le 2018-09-17].

- GRATTON, L. et F. HONE, 2006. Les défis de la forêt privée: la conservation, l'utilisation durable de la forêt et l'écotourisme. *Teoros*, 25 (3): 30-35.
- GRATTON, L. et D. BRYANT, 2012. Une approche intégrée à l'échelle des paysages pour préserver la connectivité. *Le Naturaliste canadien*, 136 (2): 101-107.
- GRATTON, L. et J. LEVINE, 2018. L'initiative Staying Connected: pour reconnecter la nature et les humains par-delà des frontières. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1): 12-17.
- GRATTON, L., M. LELIÈVRE, C. DAGUET, M.-J. MARTEL, F. HONE, O. PFISTER et F. DAUDELIN, 2011. Conservation et foresterie: Contribuer au maintien des forêts privées du Québec méridional. Rapport du comité de réflexion sur la conciliation entre conservation et foresterie. Corridor appalachien, Lac-Brome, 68 p. Disponible en ligne à: http://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/rapport_foret.pdf. [Visité le 2018-09-17].
- JACKSON, N.D. et L. FAHRIG, 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144: 3143-3148.
- KARASIN, L., M. GLENNON et H. KRETSER, 2013. Make room for wildlife. A resource for landowners in the Adirondacks. *Wildlife Conservation Society Adirondack Program, Saranac Lake*, 7 p. Disponible en ligne à: https://www.dos.ny.gov/lg/publications/Make_Room_For_Wildlife.pdf. [Visité le 2018-09-17].
- LELIÈVRE, M., 2012. Conservation et aménagement du territoire, un duo nécessaire. *Urbanité*, automne 2012: 21-22.
- LESMERISES, F., C. DUSSAULT et M.-H. ST-LAURENT, 2013. Major roadwork impacts the space use behaviour of a large carnivore. *Landscape and Urban Planning*, 112: 18-25.
- LOSCERBO, D., C. DAGUET et J.A.G. JAEGER, soumis. Can passages be shared by humans and wildlife? How human use of existing underpasses affects the tendency of mammals to cross beneath a high-traffic highway? *Canadian Field-Naturalist*.
- MAILLÉ, L. et S. NICHOLSON, 2018. L'aménagement du territoire et des corridors fauniques: une approche municipale. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1): 113-117.
- MONAHAN, T. et F. HONE, 2010. Conservation en terres privées: chemin à parcourir pour négocier des ententes durables. Formation donnée pour le Réseau de milieux naturels protégés au Manoir Saint-Castin, Québec, 86 p.
- [RMN] RÉSEAU DE MILIEUX NATURELS PROTÉGÉS, 2013. Les milieux naturels protégés en terres privées au Québec – Une richesse à découvrir. Feuillelet d'information N° 3. Réseau de milieux naturels protégés, Montréal, 2 p. Disponible en ligne à: http://www.rmnat.org/wp-content/uploads/2013/03/RMN_feuillelet3_terres_privées_V4-2.pdf. [Visité le 2018-02-20].
- ROBIDOUX, C., 2015. Identification des corridors d'importance en Montérégie et validation du corridor naturel entre les monts Brome et Shefford. *Corridor appalachien, Eastman*, 24 p. + annexes.
- ROBIDOUX, C. et J.-R. GUÉRIN, 2010. Identification et validation des corridors naturels du territoire du Corridor appalachien (2009-2010). *Corridor appalachien, Lac-Brome*, 22 p.
- ROBIDOUX, C. et G. BOUTHOT, 2011. Validation des corridors naturels sur le territoire du Corridor appalachien (2010-2011). *Corridor appalachien, Lac-Brome*, 61 p.
- SALVANT, F., 2017. Identification des zones d'intervention prioritaires pour les mouvements fauniques sur une portion de l'autoroute 10 (Québec, Canada). Essai de maîtrise présenté au Département de géomatique appliquée, Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 100 p. Disponible en ligne à: <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/11506>. [Visité le 2018-09-17].
- SERRANO, M., L. SANZ, J. PUIG et J. PONS, 2002. Landscape fragmentation caused by the transport network in Navarra (Spain). *Landscape and Urban Planning*, 58 (2-4): 113-123.
- ST-LAURENT, M.-H., C. DUSSAULT, J. FERRON et R. GAGNON, 2009. Dissecting habitat loss and fragmentation effects following logging in boreal forest: conservation perspectives from landscape simulations. *Biological Conservation*, 142: 2240-2249.
- TARDIF, B., G. LAVOIE et Y. LACHANCE, 2005. Atlas de la biodiversité du Québec – Les espèces menacées ou vulnérables. Gouvernement du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du développement durable, du patrimoine écologique et des parcs, Québec, 60 p. Disponible en ligne à: <http://www.cdpnq.gouv.qc.ca/pdf/Atlas-biodiversite.pdf>. [Visité le 2018-09-17].
- TROMBULAK, S.C. et C.A. FRISSELL, 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14: 18-30.
- VAN BOHEMEN, H.D., 2004. Ecological engineering and civil engineering works. Rapport de thèse de doctorat, University of Technology, Delft, 369 p.

Détermination des facteurs spatiotemporels expliquant le risque de collision routière avec des cervidés sur l'autoroute Claude-Bécharde (85) au Témiscouata

Jérôme Laliberté et Martin-Hugues St-Laurent

Résumé

Une stratégie efficace d'atténuation des collisions routières impliquant la faune requiert de bonnes connaissances des facteurs pouvant expliquer pourquoi, où et quand celles-ci se produisent, afin d'améliorer la sécurité routière. Les collisions routières impliquant des cervidés sont reconnues pour être influencées notamment par des caractéristiques temporelles (phase du jour, saison, période biologique) et spatiales (topographie, couvert forestier). Ces facteurs peuvent influencer le comportement des cervidés, la capacité des conducteurs à détecter les animaux sur la chaussée et leur temps de réaction. Nous avons évalué l'effet des différentes caractéristiques spatiotemporelles sur le risque de collisions avec l'orignal (*Alces americanus*) et le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) sur l'autoroute Claude-Bécharde (axe routier 85/185) reliant Rivière-du-Loup (Québec) au Nouveau-Brunswick, pour la période de 1990 à 2015. Notre capacité à identifier les principaux facteurs expliquant la distribution spatiotemporelle des collisions différait entre les espèces, et était meilleure pour l'orignal que pour le cerf. Les facteurs identifiés dans notre étude peuvent contribuer au développement d'une stratégie d'atténuation pour l'autoroute Claude-Bécharde et à limiter le risque de collision, principalement avec l'orignal, tout en apportant de plus amples connaissances sur la répartition des collisions routières avec les cervidés dans un paysage agroforestier habité supportant de fortes densités de cervidés.

MOTS CLÉS: cervidés, collisions routières, connectivité écologique, comportement faunique, sécurité routière

Abstract

An effective mitigation strategy to reduce collisions between wildlife and vehicles, and to improve road safety, requires precise knowledge of why, where and when such collisions happen. Collisions with cervids are known to be particularly influenced by different temporal (e.g., time of day/night, season and biological cycle) and spatial (e.g., topography and forest cover) characteristics. These factors can influence cervid behavior, the ability of drivers to detect animals on the road, and driver reaction time. The present study evaluated the effect of spatiotemporal characteristics on the risk of collisions with moose (*Alces americanus*) and white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on the Claude-Bécharde Highway (Highway 85/185), linking Rivière-du-Loup (Québec, Canada) with the province of New Brunswick, between 1990 and 2015. Ability to identify the main factors influencing the spatiotemporal distribution of collisions differed between species, and was higher for moose than for deer. Factors highlighted in the study could help develop appropriate mitigation measures for the Claude-Bécharde Highway to help limit the risk of collision, mainly with moose. The study also provides additional knowledge on the distribution of vehicle collisions with cervids in an inhabited agroforestry landscape holding a high density of these animals.

KEYWORDS: animal behavior, cervids, ecological connectivity, road safety, wildlife-vehicle collisions

Introduction

Le nombre de collisions impliquant la faune a largement augmenté durant les dernières décennies dans l'hémisphère nord (p. ex. Huijser et collab., 2008; Seiler et collab., 2004). Compte tenu de l'expansion annuelle du réseau routier (Hawbaker et collab., 2006), il est justifié de croire que cette tendance persistera pour les années à venir (van der Ree et collab., 2015a). Cette augmentation du nombre de collisions avec la faune peut être partiellement expliquée par une hausse du débit routier et une modification du comportement et des densités régionales des principales espèces fauniques impliquées (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996; Seiler et collab., 2004). En 2003, près de 45 000 collisions impliquant la grande faune se produisaient sur les routes canadiennes.

Jérôme Laliberté est candidat à la maîtrise à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) dans l'équipe de recherche en gestion de la faune terrestre dirigée par Martin-Hugues St-Laurent. Il détient un baccalauréat en biologie de l'UQAR ainsi qu'une technique en milieu naturel du Cégep de Saint-Félicien.

Martin-Hugues St-Laurent détient un doctorat en biologie de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et est professeur titulaire en écologie animale à l'UQAR. Il y dirige un programme de recherche visant à mieux comprendre les impacts de l'altération des habitats sur l'écologie du caribou des bois, du loup gris, de l'orignal, du coyote et de l'ours noir en gestion et conservation de la faune terrestre.

martin-hugues_st-laurent@uqar.ca

Ce nombre tendrait à augmenter de 10 à 15 % annuellement, engendrant en moyenne 1 500 cas de blessures et une vingtaine de mortalités d'automobilistes par année (Tardif et collab., 2003). Ces auteurs ont également estimé que les coûts en dommages matériels s'élevaient alors à 200 000 000 \$ CA (4 500 \$/collision).

Afin d'améliorer la sécurité routière, il importe de comprendre pourquoi, à quels moments et à quels endroits se produisent les collisions routières, puisqu'elles sont rarement réparties aléatoirement dans le temps et l'espace (Steiner et collab., 2014). Plusieurs écologistes se sont intéressés aux patrons temporels et spatiaux de répartition des collisions impliquant la faune (Finder et collab., 1999; van der Ree et collab., 2015b).

Une corrélation est souvent notée entre l'augmentation des collisions routières, l'augmentation de la densité des espèces fauniques impliquées et l'augmentation du débit routier (Litvaitis et Tash, 2008; Morelle et collab., 2013; Niemi et collab., 2017). La répartition des ressources importantes pour les espèces fauniques impliquées à des fins d'alimentation, de reproduction ou d'abri et l'emplacement des corridors de déplacement peuvent également expliquer une partie de la variabilité dans ces collisions. Hurley et collab. (2008) ont d'ailleurs montré que les modèles incluant l'habitat prédisaient plus fidèlement l'emplacement des sites de collisions avec l'orignal (*Alces americanus*) dans les parcs nationaux du Mont Revelstoke et de Glacier (Colombie-Britannique) que tous ceux incluant seulement des variables relatives aux conducteurs (vigilance, visibilité, etc.). D'autres variables identifiées comme importantes sont la distance à la parcelle d'habitat de bonne qualité la plus proche ainsi que celle aux vallées (Dussault et collab., 2006). La distribution temporelle des collisions impliquant la faune semble également être liée à certaines périodes du cycle de vie des espèces impliquées, comme la dispersion et la reproduction (Morelle et collab., 2013), qui engendrent une augmentation des collisions au début de l'été et à l'automne (Dussault et collab., 2006). Une variation du nombre de collisions a aussi été notée selon les phases de la journée, car davantage d'accidents survenaient durant la nuit (Dussault et collab., 2006; Morelle et collab., 2013).

Mieux cibler les facteurs spatiotemporels expliquant les collisions passées représente la première étape dans le développement d'une méthode proactive d'atténuation des risques de collisions futures dans le cadre de projets de développement routier (Neumann et collab., 2012). Sur cette base, notre objectif était de caractériser les patrons spatiotemporels de collisions impliquant l'orignal et le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) le long d'une route majeure reliant deux provinces canadiennes (Québec et Nouveau-Brunswick). Nous avons émis l'hypothèse que le risque de collision pouvait être influencé par l'activité humaine, les patrons de déplacement de la faune et la capacité des conducteurs à détecter les animaux sur ou en bordure de la chaussée. Nous prédisions donc que ce risque augmenterait là où la route était plus sinueuse et durant la nuit, à l'aube

et au crépuscule (des variables influençant la visibilité et le temps de réaction du conducteur), mais aussi durant les fins de semaine et les mois d'été (de mai à août, soit quand le débit routier devrait être plus élevé). De plus, nous avons émis l'hypothèse que le risque de collision serait modulé par des caractéristiques d'habitat favorables aux cervidés et par leur taux de déplacement. À ce chapitre, nous prédisions que les collisions avec l'orignal et le cerf de Virginie se produiraient plus souvent à proximité des mares salines, des vallées et des habitats de bonne qualité qui supportent généralement de plus grandes densités de cervidés.

Matériel et méthodes

Aire à l'étude

Notre étude s'est déroulée aux abords de l'autoroute Claude-Bécharde (autoroute 85, anciennement appelée route 185), située dans la région administrative du Bas-Saint-Laurent (sud-est du Québec, Canada), dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*). Les principales essences forestières sont le sapin baumier (*Abies balsamea*), l'épinette blanche (*Picea glauca*), le bouleau jaune et le bouleau blanc (*B. papyrifera*) (Robitaille et Saucier, 1998). Les espèces de grands mammifères qu'on y trouve sont l'orignal, le cerf de Virginie, l'ours noir (*Ursus americanus*) et le coyote (*Canis latrans*). Les densités d'originaux sont parmi les plus élevées de l'est du Canada, en réponse à l'extirpation du loup gris (*Canis lupus*) de la rive sud du fleuve Saint-Laurent depuis environ 150 ans, à l'aménagement intensif des forêts bas-laurentiennes ainsi qu'à l'application de plans de gestion favorables à la croissance d'originaux depuis 1994. Par conséquent, les densités moyennes y sont de 0,5 orignal/km² (MFFP, 2016). Cette région est caractérisée par une altitude moyenne de 290 m avec des pentes de 7 % en moyenne (Robitaille et Saucier, 1998). La température moyenne annuelle atteint 2,5 °C, et les précipitations annuelles varient de 900 à 1000 mm, dont 35 % tombent sous forme de neige. Durant l'hiver, le couvert neigeux varie de 350 à 400 cm. Le paysage est dominé par des terres à vocation forestière (~85 %) et agricole (~15 %) (Robitaille et Saucier, 1998). Plusieurs petits villages ruraux sont distribués dans la région.

L'autoroute Claude-Bécharde est le principal tronçon routier reliant la ville de Rivière-du-Loup (Québec) à la frontière du Nouveau-Brunswick. Cette route fait présentement l'objet de travaux d'élargissement depuis 2001 et passera, au terme des travaux, d'une route à deux voies à une autoroute à quatre voies séparées par un terre-plein central.

Données sur les collisions avec des cervidés

Nous avons consulté les archives de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) sur les collisions routières impliquant la faune et en avons extrait les données de collisions enregistrées sur l'autoroute Claude-Bécharde de 1990 à 2015. Pour chaque incident rapporté à la SAAQ, la borne kilométrique la plus proche, la limite de vitesse permise, la date

de la collision, l'espèce et le nombre d'animaux impliqués dans la collision ont été notés. Depuis 2010, l'espèce impliquée dans une collision est systématiquement notée dans les rapports d'accident. Cependant, la base de données 1990-2010 a dû être complétée par les responsables du ministère des Transports (MTQ) avec les notes prises par les policiers directement sur la scène d'accident. Nous n'avons conservé que les collisions avec des cervidés (orignal et cerf de Virginie) pour les analyses, puisque les autres espèces de grands mammifères (ours et coyote) n'étaient impliquées que dans une faible proportion des collisions rapportées.

Données géomatiques

Nous avons utilisé les cartes écoforestières au 1:20000 du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP) mises à jour annuellement pour y intégrer les perturbations naturelles et anthropiques. Les polygones de couvert forestier ont été classifiés dans 11 catégories: coupes 0-5 ans, coupes 6-20 ans, peuplements en régénération (21-40 ans), peuplements immatures (41-80 ans), peuplements de feuillus matures (> 80 ans), peuplements de résineux matures (> 80 ans), perturbations naturelles (feux et épidémies d'insectes de 0 à 20 ans), milieux humides, eau, autre origine anthropique (habitats fortement perturbés par l'activité humaine) et une catégorie «autres» amalgamant tous les polygones qui ne répondaient pas aux critères précédents. Nous avons utilisé les cartes routières, topographiques et de localisation des ravages d'orniaux et de cerfs de Virginie du MFFP. Nous avons représenté graphiquement les fonctions de sélection des ressources ou RSF (de l'anglais *Resource selection functions*) (Manly et collab., 2002) établies par Laliberté et St-Laurent (soumis) sur les données télémétriques de cerf de Virginie utilisées par Lesage et collab. (2000) et d'orignal provenant de la région du Témiscouata et de Rivière-du-Loup (M.-H. St-Laurent, données non publiées) afin de recenser les parcelles d'habitat pour lesquelles la probabilité relative d'occurrence était élevée (les 2,5 % des habitats les mieux classés pour l'orignal et les 10 % pour le cerf). Les pourcentages sélectionnés différaient selon l'espèce en raison de la forte probabilité d'occurrence de l'orignal dans l'aire d'étude. Ceci a permis de créer une variable d'habitat de haute qualité. Le tracé de l'autoroute Claude-Bécharde géoréférencé par le MTQ a servi à calculer un indice de sinuosité de l'autoroute pour chaque kilomètre de route en divisant la distance euclidienne entre les deux extrémités de chaque tronçon de 1 km d'autoroute par la longueur du tronçon (c.-à-d. 1 km); ainsi, une ligne droite a une valeur maximale de 1 et une route sinueuse a une valeur inférieure à 1. Nous avons identifié l'emplacement des mares salines de même que celui des lampadaires (créant ainsi un indice binaire de luminosité: présence ou absence d'éclairage artificiel) lors de visites sur le terrain. Les données climatiques et météorologiques le long de l'axe routier ont été fournies par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec.

Toutes les analyses géomatiques ont été réalisées à l'aide du logiciel ArcMap 10.1 (ESRI Inc., 2011).

Analyse des patrons temporels de collisions

Nous avons évalué l'effet du mois, du jour de la semaine et des phases du jour (aube, jour, crépuscule et nuit) sur la distribution temporelle des collisions routières impliquant les cervidés. Les phases du jour ont été identifiées à l'aide des heures officielles de lever et de coucher du soleil (NRC, 2017), les périodes «aube» et «crépuscule» ont été délimitées en ajoutant et en soustrayant 30 minutes à l'heure du lever et du coucher du soleil, respectivement.

Pour chaque espèce, les collisions ont été groupées par année. Le nombre de collisions a ensuite été compilé par période. Nous avons évalué l'effet des différentes périodes sur le nombre de collisions pour chaque espèce en utilisant des régressions de Poisson. La durée des périodes a été prise en compte (variable de pondération d'échelle) pour gérer la variation de la durée d'ensoleillement au fil de l'année. Cette variable sert à corriger pour la période d'exposition variable (c.-à-d. la durée des périodes) dans une régression de Poisson. Nous avons ensuite utilisé la macro MULT (Piepho, 2012) avec une correction de Bonferroni pour obtenir des comparaisons multiples des moindres carrés moyens. Les analyses temporelles ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2017).

Analyse des patrons spatiaux de collisions

Nous avons évalué l'effet des caractéristiques spatiales sur la probabilité de collision avec un cervidé, en comparant les caractéristiques observées à chaque site de collision avec celles trouvées à un nombre égal de points aléatoires répartis le long de l'axe routier. Les variables relatives à l'habitat qui ont été considérées comprenaient l'altitude (m), la pente (°), le couvert forestier (11 classes), la distance à la mare saline la plus proche (m), la distance au ravage le plus proche (m) et la distance à la parcelle d'habitat de qualité la plus proche (DPHQ, m). Comme dans Leblond et collab. (2011), nous avons testé différents rayons de zones tampons (de 500 à 2500 m) afin de contextualiser la variation d'altitude et de pente autour des points de collisions ou des points aléatoires. Les rayons les plus pertinents (selon le Critère d'Information Bayésien: BIC, pour *Bayesian Information Criterion*) étaient de 500 m pour les deux variables et pour les deux espèces. Une fonction de distance déclinante ($e^{-\alpha/d}$ Carpenter et collab., 2010) a été utilisée pour atténuer l'influence d'une distance croissante des éléments rarement rencontrés (c.-à-d. mares salines, ravages, DPHQ). La meilleure valeur d'alpha (α) a été déterminée suivant la méthode de Lesmerises et collab. (2018). Seule la variable de DPHQ pour l'orignal a été transformée en distance déclinante avec un α de 150, ce qui faisait plafonner l'effet de cette variable au-delà de 1 km.

Les variables météorologiques considérées comprenaient la température maximale quotidienne (°C), la température minimale quotidienne (°C) et les précipitations quotidiennes en pluie (variable binaire: présence ou absence de pluie dans la journée). Dans le but d'attribuer des conditions météorologiques aux points aléatoires, nous avons assigné aléatoirement une date dans une fenêtre de ± 1 semaine autour de la date d'une collision et avons attribué au point aléatoire les conditions météorologiques correspondant à cette date.

Les variables relatives aux conditions routières comprenaient l'indice de sinuosité et l'indice de luminosité. Nous avons utilisé le facteur de l'inflation de la variance et l'indice de condition pour vérifier l'absence de multicollinéarité entre nos variables indépendantes; la température minimale a été retirée des analyses en raison d'une forte colinéarité avec la température maximale. Nous avons construit des modèles candidats de régression logistique conditionnelle en utilisant la librairie *survival* du logiciel R (Therneau, 2015). Nous avons utilisé le BIC pour identifier le modèle le plus parcimonieux et avons utilisé une validation croisée (Boyce et collab., 2002) pour évaluer la robustesse de ce dernier modèle. Les analyses spatiales ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2017).

Résultats

Analyses temporelles

La base de données de collisions routières comprenait 198 collisions impliquant l'original et 252 collisions impliquant le cerf de Virginie. Pour les deux espèces, seuls les mois (original: $F_{(10, 288)} = 125,84, P < 0,001$; cerf: $F_{(11, 315)} = 16,83, P < 0,001$) et les phases du jour (original: $F_{(3, 288)} = 385,22, P < 0,001$; cerf: $F_{(13, 315)} = 646,40, P < 0,001$) avaient un effet sur la variation du nombre de collisions. Le jour de la semaine n'avait pas d'effet sur la variation du nombre de collisions pour les deux cervidés (original: $F_{(16, 288)} = 0,88, P = 0,512$; cerf: $F_{(6, 315)} = 1,06, P = 0,3838$). Ainsi, une augmentation des collisions durant les mois d'été était observable pour l'original (figure 1a). Pour le cerf, une première augmentation du nombre de collisions était visible en avril et une deuxième à l'approche de l'automne (figure 1b). La distribution des collisions en fonction des phases du jour était similaire pour les deux espèces (figure 1c et 1d), à savoir un plus grand nombre de collisions à l'aube et au crépuscule que durant la nuit et le jour, ainsi qu'un plus grand nombre de collisions la nuit que le jour. Les analyses n'ont révélé aucune différence significative entre le nombre de collisions à l'aube et celles au crépuscule.

Analyses spatiales

À partir des données complètes, seules les collisions comprises durant les mois où les collisions impliquant les cervidés étaient plus fréquentes ont été utilisées pour réaliser les analyses spatiales. À la lumière des résultats de notre analyse temporelle, les collisions retenues étaient celles d'avril à septembre pour l'original (Figure 1a) et d'avril à octobre pour le cerf de Virginie (Figure 1b). Cette approche nous a permis de réduire le biais associé aux rares collisions survenues durant

Tableau 1. Modèles candidats de régression logistique conditionnelle pour l'analyse spatiale des collisions impliquant l'original sur l'autoroute Claude-Bécharde de 1990 à 2015 ($n = 155$). Dans la partie inférieure, les coefficients (β), erreurs types et valeurs P sont fournis pour le modèle le plus parcimonieux (en gras). Un astérisque indique un effet significatif ($P < 0,05$).

Modèle	k	n	ΔBIC
Luminosité + Sinuosité + Pluie quotidienne	3	155	43,28
Température maximale + Pluie quotidienne	2	155	47,33
Couvert forestier + Distance à une parcelle d'habitat de bonne qualité (DPHQ)	9	155	50,12
DPHQ + Proportion de milieu humide	2	155	37,79
Pente + Altitude + DPHQ + DPHQ \times Pente + Altitude \times Pente	5	155	0
Distance à un ravage + Distance à une mare saline	2	155	31,45
Complet	17	155	66,08

	β	Erreur type	Valeur de z	P
Pente	-0,3382	0,2740	-1,23	0,217
Altitude	0,0087	0,0037	2,34	0,019*
DPHQ	0,0005	0,0004	1,23	0,217
Pente \times DPHQ	-0,0003	0,0001	-2,30	0,021*
Pente \times Altitude	0,0021	0,0010	2,15	0,031*

l'hiver. De plus, les collisions pour lesquelles certaines variables météorologiques n'étaient pas disponibles ont été retirées de la base de données. La taille de l'échantillon a donc été réduite à 155 collisions impliquant l'original et à 176 collisions impliquant le cerf de Virginie.

De tous les modèles candidats visant à expliquer la répartition spatiale des collisions impliquant l'original, le modèle le plus parcimonieux comprenait l'altitude, la pente, la DPHQ ainsi que des interactions entre ces variables (tableau 1). L'altitude, de même que les interactions entre la pente et l'altitude, et entre la pente et la DPHQ, avaient un effet sur la probabilité relative d'accident (tableau 1; figure 2). Ainsi, le risque de collision était plus élevé à plus haute altitude, mais il diminuait lorsque la pente augmentait (figure 2). Le risque de collision était également plus élevé lorsque l'on se trouvait à proximité d'une parcelle d'habitat de bonne qualité pour l'original. Pour leur part, les sites présentant une faible pente et localisés loin d'une parcelle d'habitat de bonne qualité présentaient aussi un risque de collision élevé. Ce modèle était robuste et départageait avec succès les collisions des points aléatoires dans 71,6% des cas (\pm un écart-type de 7,0).

Pour ce qui est du cerf de Virginie, le modèle le plus parcimonieux incluait seulement la proportion de peuplements résineux matures dans une zone tampon de 500 m de rayon

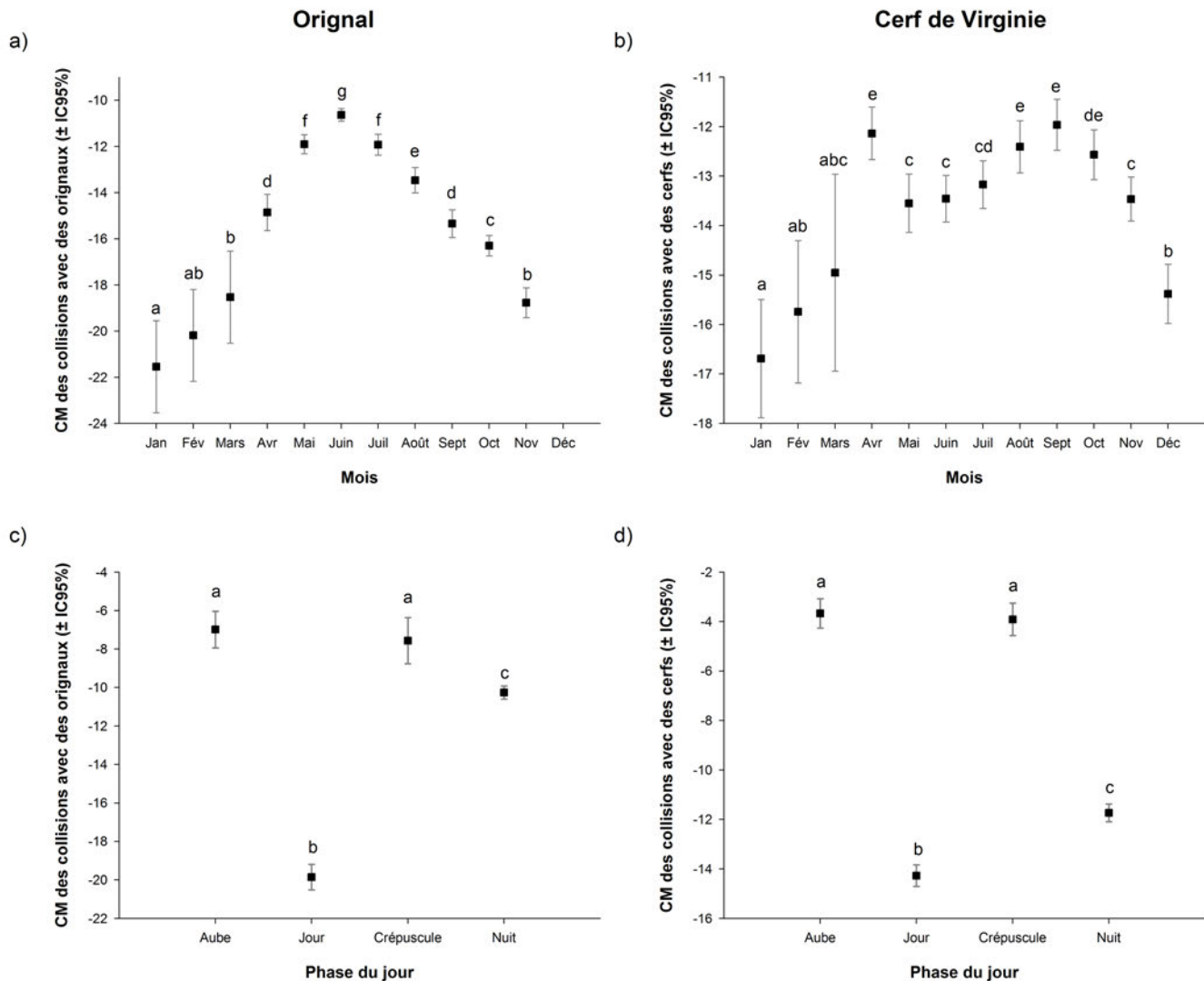


Figure 1. Moindres carrés moyens (CM) des collisions impliquant l'orignal ($n = 198$) par mois (a) et par phase du jour (c), et le cerf de Virginie ($n = 176$) par mois (b) et par phase du jour (d) (\pm intervalle de confiance à 95 %). Aucune collision avec l'orignal n'a été recensée en décembre. Les carrés moyens représentent l'estimé moyen de l'effet des mois et des phases du jour une fois pris en compte l'effet des autres périodes. Ceux surmontés par des lettres différentes sont considérés comme statistiquement différents les uns des autres, alors que ceux qui portent une même lettre sont statistiquement semblables.

ainsi que la sinuosité de la route (tableau 2). Dans ce modèle, un risque de collision plus élevé survenait lorsque la route était moins sinueuse et que l'on se trouvait près d'un peuplement de résineux matures (tableau 2). Cependant, ce modèle n'était que peu robuste, puisqu'il ne réussissait à départager les collisions des points aléatoires que dans 60,3 % des cas (\pm un écart-type de 7,4).

Discussion

Nos résultats montrent que les aspects temporels et spatiaux jouent tous deux un rôle dans la répartition des collisions impliquant les cervidés sur l'autoroute Claude-Béchar. Par contre, ces deux aspects semblent expliquer la distribution des collisions à des degrés différents selon l'espèce.

Analyse temporelle

La majorité des collisions routières impliquant l'orignal sur l'autoroute Claude-Béchar se produisaient de mai à août. Des résultats similaires ont été obtenus ailleurs au Québec (Dussault et collab., 2006), à Terre-Neuve (Joyce et Mahoney, 2001) et en Finlande (Haikonen et Summala, 2001). Cette augmentation du nombre mensuel de collisions avec l'orignal est souvent expliquée par une modification comportementale. En effet, à l'approche de l'été, les orignaux se rapprochaient des bordures de routes pour avoir accès aux mares salines créées par le lessivage des sels de déglacage (Laurian et collab., 2007) de même qu'à une végétation disponible plus hâtivement en milieu ouvert (Rea, 2003). La répartition mensuelle des collisions est toutefois différente

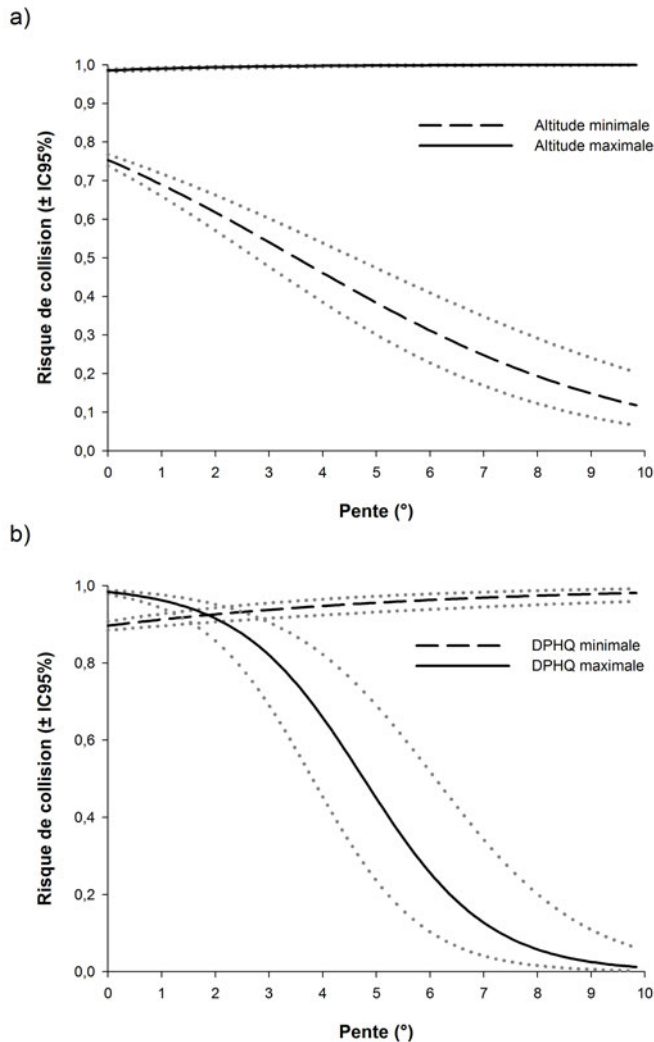


Figure 2. Représentation graphique de l'effet des interactions entre a) la pente et l'altitude; et b) entre la pente et la distance à la parcelle d'habitat de qualité la plus proche (DPHQ) sur le risque d'entrer en collision avec un orignal sur l'autoroute Claude-Bécharde dans le sud-est du Québec, Canada. Les lignes pointillées grises délimitent l'intervalle de confiance à 95 %.

pour le cerf de Virginie. On observe une forte augmentation des collisions en avril, puis une deuxième augmentation de juillet à novembre, avec un maximum en septembre. Ces deux augmentations coïncident avec deux périodes de l'année où le taux de mouvement des cerfs augmente, en rapport avec la dispersion post-hivernale (sortie des aires d'hivernage) et le rut (Haikonen et Summala, 2001; Sudharsan et collab., 2006).

La répartition quotidienne des collisions était similaire pour les deux espèces de cervidés. On observait une augmentation du nombre de collisions à l'aube et au crépuscule, ce qui pourrait être liée à l'augmentation du taux d'activité des cervidés durant ces périodes (Haikonen et Summala, 2001; Krauze-Grytz et collab., 2017) ainsi qu'à une diminution de la capacité des conducteurs à détecter les

Tableau 2. Modèles candidats de régression logistique conditionnelle pour l'analyse spatiale des collisions impliquant le cerf de Virginie sur l'autoroute Claude-Bécharde de 1990 à 2015 ($n = 170$). Dans la partie inférieure, les coefficients (β), erreurs types et valeurs P sont fournis pour le modèle le plus parcimonieux (en gras). Un astérisque indique un effet significatif.

Modèle	k	n	ΔBIC
Luminosité + Sinuosité + Pluie quotidienne	3	170	10,49
Température maximale quotidienne + Pluie quotidienne	2	170	10,20
Couvert forestier + DPHQ	10	170	51,58
DPHQ	1	170	5,91
Proportion de résineux mûres + Proportion de milieux perturbés par l'homme	2	170	4,21
Pente + Altitude	2	170	8,70
Pente + Altitude + Pente \times altitude	3	170	13,42
Pente + Altitude + Altitude ²	3	170	13,39
Distance à un ravage + Distance à une mare saline	2	170	10,76
Sinuosité + Proportion de résineux mûres	2	170	0
Complet	18	170	78,26

	β	Erreur type	Valeur de z	P
Sinuosité	1,509	4,524	1,97	0,049*
Proportion de peuplements de résineux mûres	2,703	14,917	2,52	0,012*

animaux sur ou en bordure de la chaussée, et peut-être même une diminution de la vigilance des conducteurs (Mastro et collab., 2010).

Analyse spatiale

Les caractéristiques topographiques du paysage semblent influencer le risque de collision avec un orignal. En effet, nos résultats démontrent que ce risque augmente lorsque l'altitude relative augmente. De plus, la pente et la DPHQ de même que la pente et l'altitude interagissaient significativement sur le risque de collision avec un orignal. Selon nous, ces résultats peuvent s'expliquer par le comportement des orignaux et la capacité des conducteurs à détecter un animal sur la route. Il a été démontré que les orignaux se déplacent le long des courbes de niveau (Leblond et collab., 2010) ce qui peut expliquer le risque élevé de collision lorsque la pente est faible. Le risque élevé de collision loin des parcelles d'habitat de bonne qualité, là où la pente est faible, appuie cette affirmation, car les orignaux se trouvant dans un habitat de faible qualité pourraient chercher à se déplacer pour atteindre des habitats de meilleure qualité. Le risque de collision plus élevé à haute

altitude relative peut s'expliquer par le fait que les orignaux suivis pour la présente étude utilisaient des habitats se situant à des altitudes variant de 306 à 486 m, ce qui représente la partie forestière de notre zone d'étude (457 m d'altitude étant le maximum observé pour les collisions), alors que les altitudes plus faibles sont principalement observées en milieu urbain le long de la côte et près des battures, des zones moins propices à la présence d'orignaux. Les orignaux se trouvent donc à une altitude relative plus élevée, expliquant l'effet positif de l'altitude relative sur le risque de collision.

Les collisions impliquant le cerf de Virginie survenaient plus fréquemment lorsque la route était plus rectiligne, suggérant potentiellement une augmentation de la vitesse des automobilistes (Huijser et collab., 2007) ainsi qu'un temps de réaction plus court. Par ailleurs, les collisions étaient plus fréquentes à proximité des peuplements de résineux matures, ce qui suggère que la probabilité d'occurrence relative est plus élevée pour le cerf près des aires d'hivernage de l'espèce (Wetzel et collab., 1975). Une analyse préliminaire a été effectuée afin d'inclure seulement la ou les catégories d'habitat présentant le plus grand ratio utilisé/disponible dans les modèles. Pour le cerf de Virginie, ces habitats étaient les peuplements de résineux matures et les habitats fortement perturbés par l'activité humaine. En considérant les patrons mensuels de distribution des collisions avec le cerf de Virginie, il appert que l'influence des peuplements résineux se reflète par la sortie imprévisible des aires d'hivernage après la fonte de la neige. La faible robustesse du modèle spatial indique toutefois que les collisions avec le cerf sont spatialement plus imprévisibles et que les facteurs temporels sont responsables d'une plus grande proportion de la variabilité dans la répartition des collisions impliquant le cerf de Virginie.

Conclusion

En conclusion, nos résultats fournissent des informations importantes qui pourraient orienter les stratégies d'atténuation des collisions routières avec les cervidés, particulièrement dans les régions agroforestières présentant de fortes densités de cervidés. Ces informations permettront de cibler des périodes pendant lesquelles et des sites sur lesquels la signalisation routière pourrait être adaptée, et où l'on pourrait considérer l'aménagement de structures (clôtures à grande faune, passages fauniques sous la chaussée, etc.) afin de réduire le nombre de collisions entre les véhicules et la grande faune.

Remerciements

Ce projet de recherche a été financé par le MTQ. Nous remercions J. Boucher, C. Dufour, M. Michaud, J. Côté, S. Rhéaume et L. Gratton pour les révisions sur les versions précédentes, F. St-Pierre pour les travaux de terrain, J. Frenette, É. Beaulieu et S. Lavoie pour le support logistique, B. Bussièrès pour l'accès aux données ainsi que A. Caron et S. Daigle pour l'aide en analyses statistiques. Nous tenons également à remercier les évaluateurs pour leurs commentaires constructifs à la suite de la soumission de ce manuscrit au *Naturaliste canadien*. ◀

Références

- BOYCE, M.S., P.R. VERNIER, S.E. NIELSEN et F.K.A. SCHMIEGELOW, 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, 157 : 281-300.
- CARPENTER, J., C. ALDRIDGE et M.S. BOYCE, 2010. Sage-grouse habitat selection during winter in Alberta. *Journal of Wildlife Management*, 74 : 1806-1814.
- DUSSAULT, C., M. POULIN, R. COURTOIS et J.-P. OUELLET, 2006. Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec, Canada. *Wildlife Biology*, 12 : 415-425.
- ESRI INC., 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Environmental Systems Research Institute, Redlands, Californie.
- FINDER, R.A., J.L. ROSEBERRY et A. WOOLF, 1999. Site and landscape conditions at white-tailed deer/vehicle collision locations in Illinois. *Landscape and Urban Planning*, 44 : 77-85.
- GROOTBRUINDERINK, G.W.T.A. et E. HAZEBROEK, 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology*, 10 : 1059-1067.
- HAIKONEN, H. et H. SUMMULA, 2001. Deer-vehicle crashes: Extensive peak at 1 hour after sunset. *American Journal of Preventive Medicine*, 21 : 209-213.
- HAWBAKER, T.J., V.C. RADELOFF, M.K. CLAYTON, R.B. HAMMER et C.E. GONZALEZ-ABRAHAM, 2006. Road development, housing growth, and landscape fragmentation in northern Wisconsin: 1937-1999. *Ecological Applications*, 16 : 1222-1237.
- HUIJSER, M.P., A. KOCIOLEK, P. MCGOWEN, A. HARDY, A.P. CLEVENGER et R. AMENT, 2007. Wildlife-vehicle collision and crossing mitigation measures: a toolbox for the Montana Department of Transportation. Final Report submitted by the Western Transportation Institute.
- HUIJSER, M.P., J.W. DUFFIELD, A.P. CLEVENGER, R.J. AMENT et P.T. MCGOWEN, 2009. Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada: a decision support tool. *Ecology and Society*, 14 : 15.
- HURLEY, M.V., R.K. RAPAPORT et C.J. JOHNSON, 2008. Utility of expert-based knowledge for predicting wildlife-vehicle collisions. *Journal of Wildlife Management*, 73 : 278-286.
- JOYCE, T.L. et S.P. MAHONEY, 2001. Spatial and temporal distributions of moose-vehicle collisions in Newfoundland. *Wildlife Society Bulletin*, 29 : 281-291.
- KRAUZE-GRYZ, D., M. ZMIHORSKI, K. JASINSKA, L. KWASNY et J. WERKA, 2017. Temporal pattern of wildlife-train collisions in Poland. *Journal of Wildlife Management*, 81 : 1513-1519.
- LALIBERTÉ, J. et M.-H. ST-LAURENT, soumis. Being at the wrong place at the wrong time: Moose and deer movement patterns influence wildlife-vehicle collision risk.
- LAURIAN, C., C. DUSSAULT, J.-P. OUELLET, R. COURTOIS, M. POULIN et L. BRETON, 2007. Behavioral adaptations of moose to roadside salt pools. *Journal of Wildlife Management*, 72 : 1094-1100.
- LEBLOND, M., C. DUSSAULT et J.-P. OUELLET, 2010. What drives fine-scale movements of large herbivores? A case study using moose. *Ecography*, 33 : 1102-1112.
- LEBLOND, M., J. FRAIR, D. FORTIN, C. DUSSAULT, J.-P. OUELLET et R. COURTOIS, 2011. Assessing the influence of resource covariates at multiple spatial scales: an application to forest-dwelling caribou faced with intensive human activity. *Landscape Ecology*, 26 : 1433-1446.
- LESAGE, L., M. CRÊTE, J. HUOT, A. DUMONT et J.-P. OUELLET, 2000. Seasonal home range size and philopatry in two northern white-tailed deer populations. *Canadian Journal of Zoology*, 78 : 1930-1940.
- LESMERIS, F., F. DÉRY, C.J. JOHNSON et M.-H. ST-LAURENT, 2018. Spatiotemporal response of mountain caribou to the intensity of backcountry skiing. *Biological Conservation*, 217 : 149-156.
- LITVAITIS, J.A. et J.P. TASH, 2008. An approach toward understanding wildlife collisions. *Environmental Management*, 42 : 688-697.

- MANLY, B.F., L. McDONALD, D. THOMAS, T.L. McDONALD et W.P. Erickson, 2002. Resource selection by animals: Statistical design and analysis for field studies. Kluwer Academic, Dordrecht, Pays-Bas, 221 p.
- MASTRO, L.L., M.R. CONOVER et S.N. FREY, 2010. Factors influencing a motorist's ability to detect deer at night. *Landscape and Urban Planning*, 94: 250-254.
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2016. Inventaire aérien de la grande faune: Projet de la 85/185. Rapport technique, Gouvernement du Québec.
- MORELLE, K., F. LEHAIRE et P. LEJEUNE, 2013. Spatio-temporal patterns of wildlife collisions in a region with a high-density road network, *Nature Conservation*, 5: 53-73.
- NEUMANN, W.G. ERICSSON, H. DETTKI, N. BUNNEFELD, N.S. KEULER, D.O. HELMERS et V.C. RADELOFF, 2012. Difference in spatiotemporal patterns of wildlife road-crossings and wildlife-vehicle collisions. *Biological Conservation*, 145: 70-78.
- NIEMI, M., C.M. ROLANDSEN, W. NEUMANN, T. KUKKO, R. TIILKANEN, J. PUSENIUS, E.J. SOLBERG et G. ERICSON, 2017. Temporal patterns of moose-vehicle collisions with and without personal injuries. *Accident Analysis and Prevention*, 98: 167-173.
- [NRC] NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA, 2017. Sunrise/sunset calculator; [Accessed February 2017]. Disponible en ligne à : <https://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/services/sunrise/advanced.html>. [Visité le 2017-10-25].
- PIEPHO, H.P., 2012. ASAS macro for generating letter displays for pairwise mean comparisons. *Communications in Biometry and Crop Science*, 7: 4-13.
- R CORE TEAM, 2017. 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 2017-08-16].
- REA, R.V., 2003. Modifying roadside vegetation management practices to reduce vehicular collisions with moose *Alces alces*. *Wildlife Biology*, 9: 81-91.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Ministère des Ressources naturelles, Publications du Québec, 213 p.
- SAS INSTITUTE INC., 2017. A guide to the SAS 9.4 and SAS Viya 3.2 programming documentation. Cary, Caroline du Nord, SAS Institute Inc.
- SEILER, A., J.-O. HELLDIN et C. SEILER, 2004. Road mortality in Swedish mammals: results of a drivers' questionnaire. *Wildlife Biology*, 10: 225-233.
- STEINER, W., F. LEISCH et K. HACKLANDER, 2014. A review on the temporal pattern of deer-vehicle accidents: Impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. *Accident Analysis and Prevention*, 66: 168-181.
- SUDHARSAN, K., S.J. RILEY et S.R. WINTERSTEIN, 2006. Relationship of autumn hunting season to the frequency of deer-vehicle collisions in Michigan. *Journal of Wildlife Management*, 70: 1161-1164.
- TARDIF, L.P. AND ASSOCIATES, INC., 2003. Collisions involving moto vehicles and large animals in Canada. Final Report, Transport Canada Road Safety Directorate, 44 p.
- THERNEAU, T., 2015. A Package for survival analysis in R. Version 2.38. Disponible en ligne à : <https://CRAN.R-project.org/package=survival>. [Visité le 2017-09-23].
- VAN DER REE, R., D.J. SMITH et C. GRILO, 2015a. The ecological effects of infrastructure and traffic: Challenges and opportunities of rapid global growth. Dans : van der Ree, R., D.J. Smith et C. Grilo (édit.). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons Ltd., Oxford, Royaume-Uni, p. 1-9. ISBN: 978-1-118-56818-7
- VAN DER REE, R., D.J. SMITH et C. GRILO, 2015b. *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons Ltd., Oxford, Royaume-Uni, 522 p.
- WETZEL, J.F., J.R. WAMBAUGH et J.M. PEEK, 1975. Appraisal of white-tailed deer winter habitats in Northern Minnesota. *Journal of Wildlife Management*, 39: 59-66.

LA TRAME
VERTE ET BLEUE
MÉTROPOLITAINE



Un réseau d'espaces naturels plus accessibles et mieux préservés

- Des parcs et espaces verts voués à la protection des écosystèmes et de la biodiversité
- Un meilleur accès aux milieux naturels en aménageant diverses infrastructures telles que des pistes multifonctionnelles, des belvédères, des sentiers et des bâtiments d'accueil
- La réalisation de projets structurants et mobilisateurs par les municipalités

Une Trame verte et bleue, attirante et durable, pour la qualité de vie des 800 000 citoyens de la région métropolitaine de Québec

Pour en savoir plus sur le sujet : www.cmquebec.qc.ca

Un partenariat financier du milieu et de :

28 MUNICIPALITÉS • 32 MILLIONS • 12 PROJETS

Impacts de l'ajout de passages fauniques et du prolongement de clôtures anticervidés sur la sécurité routière de la route 138 à Petite-Rivière-Saint-François

Martin Lafrance et Éric Alain

Résumé

À environ 70 km à l'est de la ville de Québec, la route 138 traverse les municipalités de Saint-Tite-des-Caps et de Petite-Rivière-Saint-François. Ce territoire offre des habitats exceptionnels pour l'orignal (*Alces americanus*), ce qui favorise l'occurrence de collisions entre véhicules et orignaux annuellement. Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a inventorié les pistes et localisé les collisions avant d'aménager, en 2007, des clôtures anticervidés afin de sécuriser le tronçon routier le plus problématique (6,3 km). Au cours des années suivantes, le nombre d'accidents avec l'orignal s'est accru significativement à l'extérieur de la section clôturée. En 2014, le MTQ a prolongé les clôtures dans les deux directions, corrigé les extrémités de celles-ci, puis aménagé deux passages inférieurs pour la grande faune caractérisés par un faible indice d'ouverture. Le MTQ émettait l'hypothèse que malgré des dimensions inférieures à celles suggérées dans la littérature, l'orignal utiliserait ces passages. Depuis, une réduction importante des collisions avec l'orignal a été observée dans ce tronçon routier et les deux passages inférieurs sont régulièrement traversés par des orignaux.

MOTS CLÉS: clôtures anticervidés, indice d'ouverture, passage faunique, orignal, sécurité routière

Abstract

Approximately 70 km east of Québec City (Canada), highway Route 138 passes through the municipalities of Saint-Tite-des-Caps and Petite-Rivière-Saint-François. This region includes prime habitat for moose (*Alces americanus*), and several moose-vehicle collisions occur there annually. In an attempt to improve road safety, the provincial ministry responsible for transport, the ministère des Transports du Québec (MTQ), monitored moose tracks and identified those areas where moose-vehicle collisions occurred. In 2007, ungulate exclusion fences were erected to secure the most problematical 6.3 km section of road. However, over the following years, the number of moose-vehicle collisions outside the fenced section increased significantly. In 2014, the MTQ extended the fences in both directions, modified their ends, and built 2 underpasses for large wildlife. Although the latter had lower openness ratios than those suggested in the literature, the MTQ hypothesized that moose would still use them. Since then, there has been an important reduction in the number of moose-vehicle collisions along this section of road, and moose regularly use the underpasses.

KEYWORDS: moose, openness ratio, road safety, ungulate exclusion fence, wildlife underpass

Introduction

L'application de mesures d'atténuation sur les routes du Québec pour la prévention des collisions avec la faune est relativement récente. Les premières clôtures d'exclusion pour la grande faune en bordure d'autoroutes furent érigées au milieu des années 2000 (de Bellefeuille et Poulin, 2004). La mise en service en 2007 du tronçon de l'autoroute Robert-Cliche (73) entre Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville fut l'un des premiers segments routiers sous la gestion du ministère des Transports du Québec (MTQ) à être sécurisé par des clôtures d'exclusion métalliques de 2,4 m de hauteur (J. Bélanger, MTQ, comm. pers.), soit du type actuellement en usage. À la même époque, des clôtures similaires étaient érigées en bordure de la route 138 entre les municipalités de Saint-Tite-des-Caps et Petite-Rivière-Saint-François et en bordure de la route 175, dans la réserve faunique des Laurentides.

Différentes conditions environnementales modulent la variabilité des corridors de déplacement de la faune de part et d'autre d'une emprise routière. Les déplacements sont également influencés par des limitations physiques telles que des clôtures d'exclusion. Celles-ci modifient les habitudes de déplacement de la faune et conditionnent les traversées d'une route. Ainsi, il importe d'évaluer l'efficacité de ces aménagements et de vérifier la pertinence des principes qui ont influencé leur conception. Cet article se veut un résumé

Martin Lafrance et Éric Alain sont respectivement biologiste et technicien de la faune à la Direction générale de la Capitale-Nationale du ministère des Transports du Québec.

martin.lafrance@transport.gouv.qc.ca

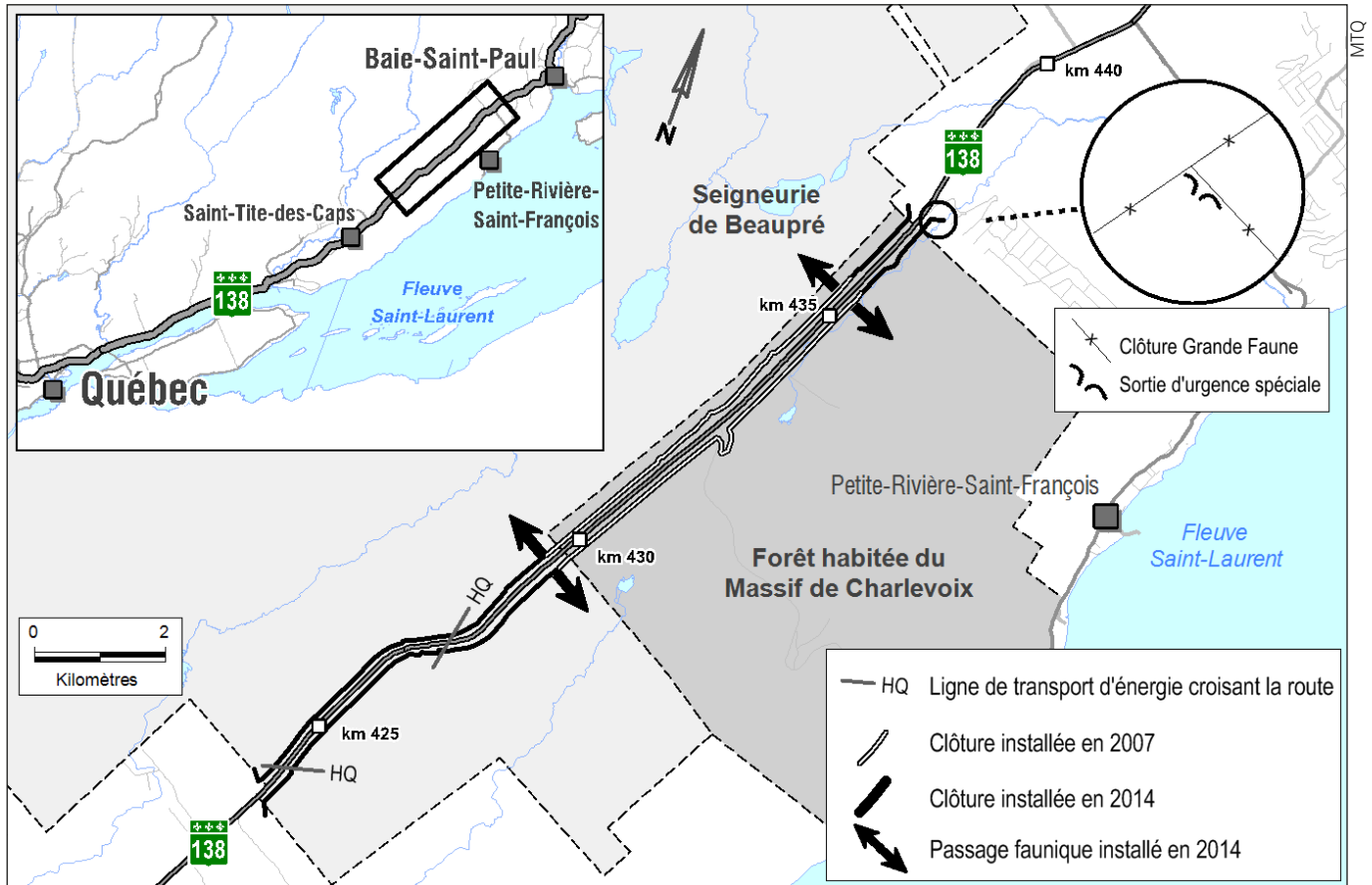


Figure 1. Carte de l'emplacement des différentes phases du projet.

de la situation près de Petite-Rivière-Saint-François sur la route 138 où une problématique de collisions avec les orignaux (*Alces americanus*) a évolué et amené le MTQ à se réajuster pour trouver une solution satisfaisante. Une discussion des principes à considérer dans les aménagements suit ce résumé.

Contexte géographique et faunique

La route 138, qui constitue le lien routier principal entre la ville de Québec et l'est de la province au nord du fleuve Saint-Laurent, traverse un secteur montagneux entre Saint-Tite-des-Caps et Petite-Rivière-Saint-François, une zone propice à la reproduction et aux déplacements d'orignaux. D'un côté de la route, une bande de terres publiques de 46 km² désignée sous le nom de Forêt habitée du Massif (FHM) borde le fleuve, qui constitue une barrière naturelle au déplacement des orignaux (figure 1). Sur cette propriété du gouvernement du Québec, toute forme de prélèvement faunique est interdite en vertu de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune. La FHM est peuplée de forêts matures et d'anciennes coupes forestières en bandes ou en damiers, qui offrent de bons couverts d'abris pour l'orignal contre les prédateurs ainsi qu'un accès facile à des parterres d'alimentation dans les secteurs en régénération (Dussault et collab., 2005; MRC de Charlevoix, 2016). De l'autre côté de la route s'étend la

Seigneurie de la Côte-de-Beauré, propriété du Séminaire de Québec qui se caractérise par de grandes superficies sauvages qui procurent des habitats de prédilection pour l'orignal, notamment pour son alimentation. Ce territoire privé de près de 1 600 km² a pour principales vocations l'exploitation forestière, la chasse et la pêche. Dans le secteur routier associé à cette zone, le débit journalier moyen annuel de la route 138 est de 6 600 véhicules par jour, mais il atteint 8 900 véhicules par jour en été (G. Langevin, MTQ, comm. pers.). Ces débits sont stables depuis 20 ans, alors que les densités d'orignaux dans ce secteur, quant à elles, progressent. Selon des inventaires réalisés dans la Seigneurie de la Côte-de-Beauré, on y répertoriait en moyenne 10,6 orignaux/10 km² à l'hiver 2004, alors qu'en 2013 c'était plutôt 14,8 orignaux/10 km² (Langevin et Bastien, 2013).

Problématique

Le secteur de Petite-Rivière-Saint-François sur la route 138 est préoccupant depuis plusieurs décennies en raison de nombreuses collisions impliquant en majorité l'orignal. Lors d'une séance d'information et de consultation organisée en décembre 2003 par le MTQ, des élus locaux et des fonctionnaires municipaux ont exprimé un sentiment d'insécurité et le souhait d'améliorer la sécurité de ce tronçon routier. Une table de concertation sur la gestion de la grande

faune a alors été créée afin que les différents acteurs soient sensibilisés à la problématique et qu'ils évaluent les solutions applicables. De 1990 à 2007, avant l'installation d'une clôture, les statistiques d'accidents répertoriés révélaient une moyenne annuelle de 4,5 collisions entre les bornes kilométriques 426,5 et 441,5 de la route 138, soit 15 km. Il s'agit du tronçon de route dans la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François qui débute à l'ouest à la frontière de la municipalité de Saint-Tite-des-Caps et qui se termine à l'est de l'intersection de la route 138 et de la rue Principale. Certaines de ces collisions se sont avérées mortelles pour les usagers de la route impliqués.

Une première solution

Pour ce secteur, une étude finalisée en 2003 pour le compte du MTQ (Tecsult inc., 2003) a permis d'identifier les sites les plus accidentogènes et de proposer des moyens pour réduire les collisions. À la suite des recommandations de l'étude, 6 km de clôtures métalliques de 2,4 m de hauteur ont été aménagés en 2007 de part et d'autre de la route 138 dans le secteur où les risques d'accident avec l'orignal étaient les plus élevés, soit entre les bornes kilométriques 429,5 et 435,8 (figure 1). Or, le profil de la route a été jugé non favorable à l'aménagement d'un passage faunique inférieur, car il n'y avait pas de cours d'eau majeur traversé par la route et la topographie ne procurait pas un dégagement vertical suffisant. Les conceptions de passages inférieurs étaient jusqu'alors basées sur les recommandations émanant d'expériences menées dans l'Ouest canadien (Clevenger et Waltho, 2003) et en Finlande (Väre, 2002). Effectivement, la littérature suggérait une hauteur minimale de deux fois la hauteur d'un orignal mâle adulte, soit 5 m, et un indice d'ouverture d'un passage¹ supérieur à 4, valeur minimale pour que l'ouvrage possède un degré d'ouverture invitant pour les ongulés, qu'il ne crée pas un effet tunnel et qu'il maximise la clarté à son approche (Clevenger et Waltho, 2003). Dans le cas présent, il aurait donc fallu un passage de 21,2 m de large sur 5 m de haut, soit une structure extrêmement coûteuse dont l'aménagement aurait nécessité des travaux d'envergure.

Des empierrements massifs (pierres de calibre 200-1100 mm sur 3 m de large) difficiles à franchir avec des pattes de cervidés ont été aménagés aux extrémités des clôtures afin d'éviter que des orignaux s'introduisent et longent l'intérieur de la zone clôturée. Un accès routier anticervidés, des barrières d'accès au territoire ainsi que des sorties d'urgence pour évacuer les orignaux qui s'introduiraient à l'intérieur de la zone clôturée ont également été construits. Un plan de signalisation routière particulier, qui se caractérise par l'implantation aux abords de la route de plusieurs panneaux de signalisation sensibilisant les usagers aux risques de collision avec un orignal, a complété l'aménagement des dispositifs de sécurité routière déployés en 2007.

Le suivi

Afin de suivre l'évolution des déplacements des orignaux, des relevés de pistes ont été effectués en bordure de la route 138 de 2006 (avant la pose de la clôture) à 2011 entre les mois de mai et septembre à des intervalles d'environ 3 semaines (AECOM, 2012). Les relevés étaient réalisés par un observateur circulant à bicyclette de chaque côté de la route entre les kilomètres 423,5 et 441,5. Ces inventaires ont été réalisés au moins 48 h après une forte pluie afin de distinguer les nouvelles pistes fraîches dans le substrat sablonneux de l'accotement de la route. Le substrat des accotements était caractérisé à chaque campagne de terrain, et la position des pistes était enregistrée sur un appareil GPS (Garmin 76 ou 60Cx). Chacune d'elles était qualifiée selon sa fraîcheur et son orientation, permettant ainsi d'établir un portrait des traversées au fil des ans.

Un suivi des collisions a été réalisé en parallèle, les données provenant de plusieurs sources changeantes ou variables (p. ex. rapports d'accident, récupération de carcasses, système du monitoring des patrouilleurs routiers, informations d'usagers par l'entremise du 511²) ont été compilées et ne coïncidaient pas avec la source des collisions avant 2007 (rapports d'accident seulement). Ces données, jumelées à l'analyse des relevés de pistes, ont permis d'avoir un aperçu de l'efficacité de la clôture mise en place en 2007 et de se prononcer sur un potentiel effet de bout.

Des résultats inférieurs aux attentes

Dès 2008, les dispositifs aménagés ont été efficaces et peu de collisions se sont produites à l'intérieur des segments clôturés. Par contre, le suivi de pistes a montré que de nouveaux corridors de déplacements d'orignaux se sont développés à la suite de l'installation des clôtures; les orignaux traversent à l'extrémité ouest de la clôture entre les kilomètres 428 et 429 et dans une moindre mesure, à l'extrémité est de celle-ci (kilomètre 436) (Tecsult AECOM inc., 2009). Dès 2010, les zones accidentogènes se sont déplacées vers les extrémités des clôtures (figure 2); l'ajout des clôtures sans passage faunique n'a pas réduit le nombre total d'accidents. En 2011, pour la première fois, celui-ci dépasse le nombre atteint avant la pose de la clôture.

Une deuxième solution

Alors que cet effet de bout important était constaté sur la route 138, l'analyse des relevés photographiques et de vidéos de la fréquentation des passages fauniques aménagés dans le cadre du projet de réaménagement de la route 175 entre Québec et Saguenay a permis de confirmer que l'orignal franchit des passages inférieurs même s'ils ont un très faible indice d'ouverture (AECOM, 2011). De bons taux de franchissement par l'orignal ont en effet été observés dans des structures situées sous la route 175. Certaines structures

1. L'indice d'ouverture d'un passage (I_o) se calcule ainsi (largeur × hauteur)/longueur (Tecsult inc., 2005; Väre, 2002).

2. Québec 511 est un service d'information qui permet aux usagers de la route de trouver ou rapporter les informations nécessaires à la planification de déplacements sécuritaires sur le réseau routier du Québec.

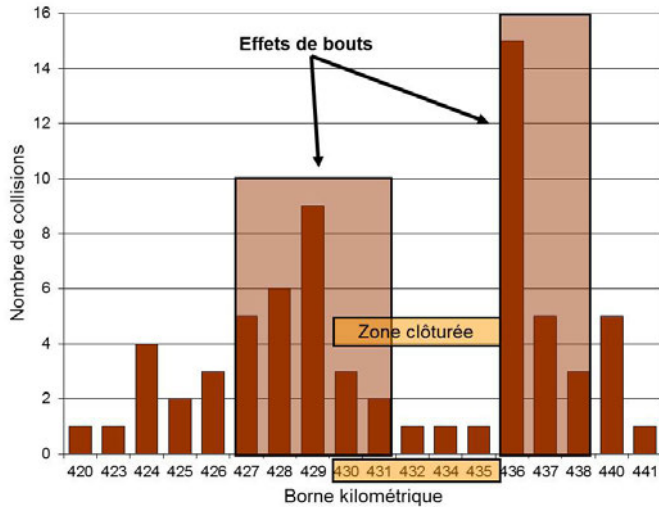


Figure 2. Fréquence totale et emplacement des collisions impliquant un orignal sur la route 138 entre les kilomètres 419 et 443, de 2010 à 2013. Les statistiques d'accidents proviennent de l'ensemble des bases de données disponibles, soit celles de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), du registre des carcasses et des systèmes « Monitoring » et « SAGE » du MTQ.

traversées, aménagées pour les petits et moyens mammifères, présentent des valeurs d'indices d'ouverture aussi basses que 1,3 et un dégagement vertical inférieur à la hauteur moyenne d'un orignal mâle adulte (figure 3). Il semblait donc que l'orignal, aux densités rencontrées à cet endroit au Québec, s'aventure dans des structures plus fermées que les populations d'orignaux ciblées ailleurs dans le monde.

Des passages inférieurs

La problématique d'effet de bout rencontrée sur la route 138 à Petite-Rivière-Saint-François semblait pouvoir être résolue en aménageant des passages fauniques de faible indice d'ouverture. Ainsi, en 2014, une deuxième phase de travaux a été réalisée, soit la construction de deux passages inférieurs pour la grande faune. Ceux-ci ont été placés près des kilomètres 429 et 436 (figure 1), là où se terminaient les clôtures installées en 2007, un secteur où les traversées d'orignaux étaient plus fréquentes. Les passages sont d'une longueur de 26,6 m, d'une largeur de seulement 6 m pour une hauteur de 4,0 m (kilomètre 429) et 3,8 m (kilomètre 436). Leur indice d'ouverture est de 0,9 chacun (figure 3).

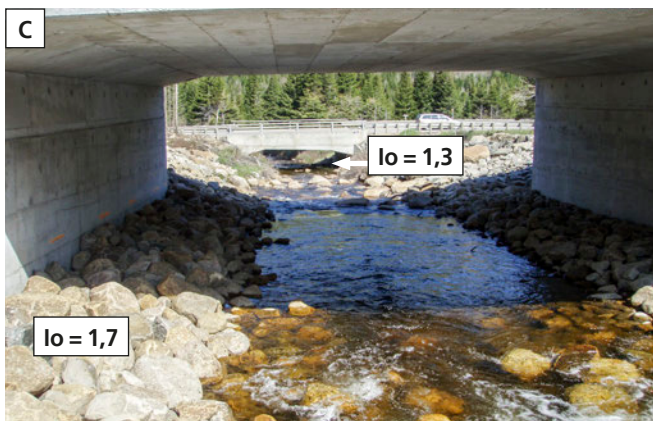


Figure 3. Illustration des indices d'ouverture [$I_o = (\text{largeur} \times \text{hauteur}) / \text{longueur}$] associés à différents passages inférieurs aménagés pour la faune terrestre: a) passage/2 ponts de la décharge du Lac à Noël (route 175, kilomètre 94), $I_o = (27,0 \times 7,5) / 50 = 4,0$; b) passage/2 ponts du ruisseau Taché (route 175, kilomètre 74), $I_o = (35,5 \times 9,5) / 45 = 7,5$; c) ponts chaussée des côtés est [en avant-plan: $I_o = (9,1 \times 2,5) / 13 = 1,7$] et ouest [en arrière-plan: $I_o = (9,3 \times 1,8) / 13 = 1,3$] du ruisseau Bureau (route 175, kilomètre 86); d) passage faunique (route 138, kilomètre 436), $I_o = (6 \times 3,8) / 26,6 = 0,9$.

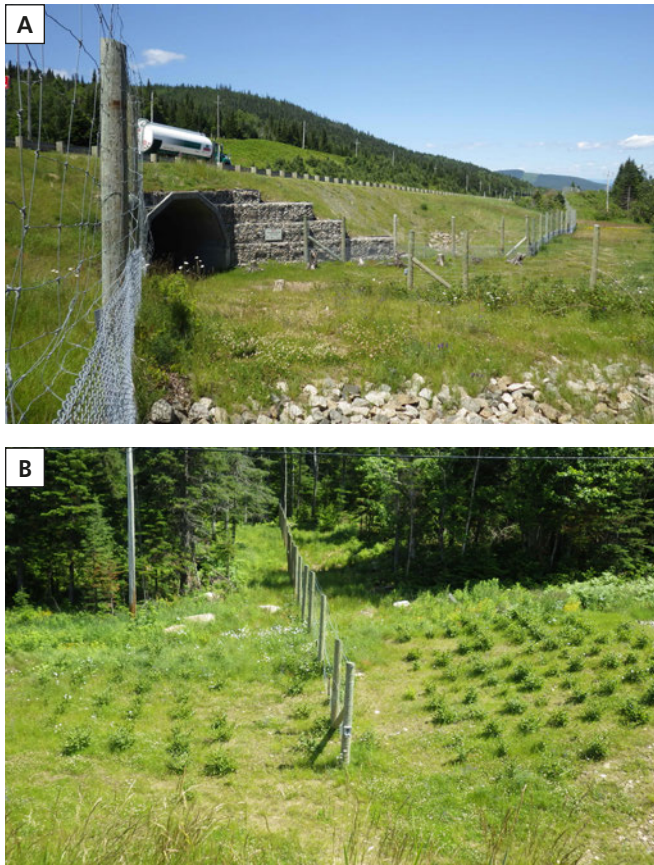


Figure 4. Disposition des segments de clôtures aux approches des passages fauniques. Vue a) vers le passage; b) vers la forêt.

Afin de rendre les approches des passages plus naturelles et attrayantes pour les cervidés, les interventions suivantes ont été réalisées: ajout de salines, ajout de souches d'arbres, plantations d'espèces à croissance rapide et prisées par l'orignal (plants individuels ou en massifs). Les segments de clôtures aux approches des passages ont été aménagés en entonnoir pour que les animaux qui longent la clôture soient guidés vers l'entrée du passage. Un segment de clôture supplémentaire débutant près de l'entrée d'un passage faunique, et s'étendant sur environ 100 m vers la forêt dans l'axe du passage, a également été aménagé dans le but de diriger vers le passage les animaux qui suivent la clôture principale d'un peu plus loin (figure 4). Ces efforts pour attirer les animaux dans le passage servent à créer une piste olfactive qui indiquera ensuite la traversée sécuritaire aux prochains individus utilisant le secteur.

Le prolongement de la clôture

Ces travaux de construction ont été jumelés au prolongement des clôtures de 1,2 km vers l'est et de 6 km vers l'ouest (figure 1). Le choix de l'emplacement des clôtures et de leurs limites optimales découle d'une analyse du paysage à grande échelle. Bien que le projet devait initialement se limiter à aménager deux passages situés essentiellement aux extrémités

des clôtures installées lors de la première phase en 2007, le choix de prolonger les clôtures jusqu'au kilomètre 423 à l'ouest comportait deux avantages. Le premier était d'intercepter les orignaux qui se déplacent dans l'axe de la ligne de transport d'énergie électrique (Hydro-Québec) qui franchit la route en deux endroits, soit aux kilomètres 427 et 424. Le deuxième avantage était de terminer les clôtures en une zone plus densément habitée et éclairée, donc moins attrayante pour l'orignal. Du côté est, le prolongement des clôtures a permis de canaliser les mouvements d'orignaux vers le passage, les extrémités des clôtures se terminant dans un talus abrupt, à un endroit moins propice à la grande faune.

L'aménagement des extrémités des clôtures a été conçu pour diriger vers la forêt les orignaux qui tenteraient de sortir de la zone clôturée et pour éviter de diriger vers la route ceux qui s'approcheraient de la zone clôturée par l'extérieur. Un tronçon de clôture secondaire d'une longueur de 100 m a été implanté à partir de la clôture principale, à 10 m de chaque extrémité, dans un axe perpendiculaire à la route en direction de la forêt (figure 1). À la jonction de ces bouts de clôtures, une porte à sens unique a été aménagée pour faire passer les orignaux du côté non clôturé vers la forêt à l'intérieur de la zone clôturée (sortie d'urgence spéciale).

Le suivi

Depuis l'installation de passages fauniques inférieurs en 2014, le suivi de ceux-ci et des sorties d'urgence spéciales est réalisé à l'aide de caméras thermosensibles de type Reconyx HC600, qui détectent les variations de température dans le champ de détection de l'objectif. Au total, 7 caméras ont été installées pour faire le suivi. Quatre d'entre elles se trouvent aux entrées des passages (une de chaque côté), sur le dernier poteau de l'aile de clôture servant à faire dévier les bêtes vers le passage, à environ 20 mètres de l'entrée. Les 3 autres caméras sont installées aux extrémités de clôtures équipées d'une sortie d'urgence spéciale afin d'observer le comportement des orignaux. La sensibilité des caméras est ajustée de façon à ce qu'elles soient déclenchées uniquement par le passage des grands mammifères. Les caméras sont inspectées et les cartes mémoires sont récupérées chaque mois de mai à décembre.

Le suivi des collisions se poursuit chaque année dans ce secteur bien particulier. Le suivi des passages fauniques et des collisions est toujours en cours.

Des résultats encourageants

L'examen des relevés photographiques de l'utilisation des deux passages fauniques, entre les mois de mai et décembre 2015, 2016 et 2017, montre que les orignaux utilisent fréquemment ces deux corridors sécurisés, et ce, dès leurs premières années d'exploitation. En 2015, 2016 et 2017, un total respectif de 57, 69 et 61 traversées complètes ont été captées par les caméras à déclenchement automatique. Ces nombres sont minimaux puisqu'il est possible que des traversées n'aient pas déclenché les appareils photographiques. En 2015, le passage faunique aménagé à la

borne kilométrique 436 a été 2,1 fois plus franchi par la grande faune que celui aménagé à la borne kilométrique 429, mais cet écart s'est rétréci en 2016 et 2017. Pour chacune des trois années de suivi, 88 à 98 % des traversées enregistrées dans ces passages par la grande faune ont été faites par des orignaux. L'essentiel des autres traversées ont été effectuées par le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*).

Les données disponibles montrent qu'il n'y a eu aucune collision avec un orignal entre les bornes kilométriques 423 et 438 en 2015 et 2016, soit lors des deux premières années suivant les travaux de prolongement des clôtures et d'aménagement des deux passages fauniques. Un seul accident est survenu en 2017 avec un orignal qui s'est introduit dans la zone clôturée entre deux poteaux déplacés par l'action du gel-dégel. Ces résultats contrastent avec la situation qui prévalait de 2010 à 2014, alors qu'il se produisait 19 collisions en moyenne annuellement avec un orignal à l'intérieur de ce tronçon.

Discussion

L'idée de sécuriser une route en la rendant étanche aux mouvements de la grande faune par l'érection de clôtures sur de longues distances constitue une option peu efficace et peut entraîner des conséquences sur les déplacements. D'abord, cette option offre un rapport coût/efficacité qui n'est pas optimal, en plus d'avoir une efficacité mitigée dans les secteurs où il faut maintenir plusieurs accès à la route. Également, cette option nuirait sans équivoque à la dispersion de l'orignal et mènerait à la fragmentation de ses habitats. De plus, il faut considérer que les orignaux adaptent leurs habitudes et leurs comportements aux obstacles qu'ils rencontrent. Ils possèdent également un domaine vital qui peut faire plus de 100 km² (Labonté et collab., 1993). Les orignaux sont ainsi en mesure de contourner des segments de clôtures qui font moins d'une dizaine de kilomètres de longueur. C'est d'ailleurs ce qui s'est produit sur la route 138 après la pose de clôtures et en l'absence de passage. Il apparaît donc essentiel, pour que l'animal puisse franchir la route de façon sécuritaire, de l'orienter vers un endroit spécifiquement conçu à cet effet.

Les intrusions d'orignaux à l'intérieur d'emprises routières clôturées augmentent les risques de collisions puisque les animaux s'y trouvent coincés. Ces intrusions sont possibles par exemple dans les situations suivantes : 1) des arbres peuvent tomber sur la clôture et l'écraser; 2) des quantités importantes de neige peuvent causer le bris des infrastructures ou abaisser le grillage; 3) l'effet du gel-dégel peut désaxer les poteaux, surtout ceux en métal (p. ex. ceux situés de chaque côté d'une structure), ou augmenter la distance entre des poteaux non reliés entre eux par un grillage; 4) les bandes de roulement et les grillages des accès routiers anticervidés qui améliorent le confort des usagers (véhicules, vélos ou piétons) peuvent également augmenter leur franchissabilité par les cervidés (p. ex. celui aménagé sur le chemin d'accès au Massif de Charlevoix); 5) une barrière laissée ouverte par un usager qui ne l'a pas bien refermée après son passage. Dans

les situations d'intrusion documentées, l'animal est poussé par des patrouilleurs vers une sortie d'urgence ou une barrière ouverte pour être évacué vers la forêt.

L'ajout de passages fauniques est un moyen non seulement de maintenir des corridors biologiques de part et d'autre de la route et de réduire la fragmentation des habitats, mais aussi de réduire le risque d'intrusion par la grande faune dans les brèches à l'intérieur des zones clôturées. Ce sont des équipements de sécurité routière essentiels à intégrer dans tout projet d'installation de clôtures anticervidés.

Dans le cadre du projet d'amélioration des dispositifs de sécurité pour la prévention des collisions avec la grande faune aux abords de la route 138 dans la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François, de nombreux franchissements ont été documentés à l'intérieur de ponceaux aménagés sous la route qui possédaient un indice d'ouverture aussi bas que 0,9. Des résultats similaires avaient été observés pour des traversées sous la route 175, dans la réserve faunique des Laurentides, pour des ponts possédant des indices d'ouverture de 1,7 et de 1,3 (AECOM, 2011). L'hypothèse que d'autres ouvrages possédant de tels indices pourraient rendre les infrastructures routières perméables aux déplacements des orignaux semble donc fondée. Néanmoins, la prudence s'impose quant à la portée de ce constat. Rappelons que les densités d'orignaux présents aux abords des routes 138 et 175, estimées respectivement à 14,8 et plus de 4,5 orignaux/10 km² (Langevin et Bastien, 2013; Bouffard et collab., 2012), sont relativement élevées. Le débit de circulation de ces routes est modérément faible et les aménagements réalisés aux approches des passages sont optimisés pour diriger les cervidés vers l'entrée des passages. Ainsi, il est possible qu'un ouvrage plus long, ne présentant pas les mêmes caractéristiques à ses approches ou situé dans un environnement différent, même avec un indice d'ouverture supérieur à 1, puisse rebuter certains animaux et contribuer à fragmenter leurs habitats. D'ailleurs, l'indice d'ouverture comporte ses limites et est de plus en plus questionné; selon certaines études, il ne devrait jamais être utilisé seul comme un gage de succès (Iuell et collab., 2007; Clevenger et Huijser, 2011). Pour d'autres espèces plus vulnérables, comme le caribou forestier (*Rangifer tarandus*), d'autres études et suivis sont assurément nécessaires pour mieux comprendre les effets des différentes caractéristiques d'un passage sur le succès de franchissement de celui-ci.

Selon les résultats et observations faites sur la route 138, il semble souhaitable de positionner les passages aux extrémités des clôtures, sinon à des endroits où la faune est habituée de circuler, dont les corridors biologiques, et d'aménager les extrémités d'une façon adaptée aux conditions observables sur le terrain pour éviter les effets de bouts. Une signalisation routière adéquate doit également être mise en place afin d'informer les usagers de la route de la fin de la zone clôturée et du risque de collision avec la grande faune.

Conclusion

L'expérience acquise dans différents projets réalisés par le MTQ montre que l'aménagement d'une clôture anticervidés ne suffit pas à réduire efficacement les collisions avec les orignaux. L'intégration de passages fauniques aux zones clôturées s'impose pour réellement réduire le risque de collision aux bouts de ces zones, mais également au cœur de celles-ci. En effet, leur présence réduit le risque que les brèches qui se forment au sein des clôtures soient rapidement exploitées par la grande faune et que des intrusions menacent la sécurité des usagers de la route.

Les aménagements de la zone clôturée de la route 138 ont réduit les collisions avec l'orignal, ce qui en était le premier objectif. L'identification des caractéristiques du paysage (p. ex. corridor de transport d'énergie croisant la route) et des principaux corridors de déplacement de la grande faune a constitué une étape importante dans le cadre de l'élaboration de la solution optimale visant à réduire les collisions routières, notamment pour le choix de l'emplacement des extrémités des clôtures d'exclusion de la faune. De plus, on sait désormais qu'il est possible d'aménager des passages fauniques inférieurs adaptés pour l'orignal et le cerf de Virginie, même sous des tronçons routiers qui présentent de faibles dégagements verticaux et horizontaux. Évidemment, un suivi de l'efficacité de ces aménagements à long terme est nécessaire. Malgré tout, on peut supposer que l'aménagement de quelques passages fauniques de faible indice d'ouverture dans une zone clôturée ne peut qu'améliorer la sécurité routière et la connectivité des habitats fauniques, et ce, à des coûts relativement modestes.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement Yves Leblanc et Mélanie Bouffard de AECOM pour leur contribution aux relevés effectués sur le terrain et à la conception des ouvrages, ainsi que Marc-André Poulin, stagiaire au MTQ en 2010. Nous saluons également l'apport des réviseurs anonymes et de l'équipe de rédaction du *Naturaliste canadien* qui ont su, par leurs commentaires pertinents, bonifier la première version de cet article. ◀

Références

- AECOM, 2011. Bilan du suivi environnemental du projet d'amélioration de la route 175 à quatre voies divisées : Efficacité des aménagements pour la grande faune. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, à l'Université du Québec à Rimouski et au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 32 p. Disponible en ligne à : https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/projets/reseau-routier/projets-routiers/capitale-nationale/Axe-routier-73-175/Documents/Documentation/Suivi_Environnemental/Bilan_suivi_environnemental.pdf.
- AECOM, 2012. Inventaire des pistes d'orignaux en bordure de la route 138 dans le secteur des Caps, entre les km 423,5 et 441,5 — Été et automne 2011. Rapport final présenté au ministère des Transports du QUÉBEC, 17 p. et annexes.
- BOUFFARD, M., Y. LEBLANC, Y. BÉDARD et D. MARTEL, 2012. Impacts de clôtures métalliques et de passages fauniques sur la sécurité routière et le déplacement des orignaux le long de la route 175 au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 136 (2) : 8-15. Disponible en ligne à : <https://www.erudit.org/fr/revues/natcan/2012-v136-n2-natcan092/1009100ar.pdf>.
- CLEVENGER, A.P. et M.P. HUIJSER, 2011. Wildlife crossing structure handbook design and evaluation in North America. Publication No. FHWA-CFL/TD-11-003. Washington, DC: Department of Transportation, Federal Highway Administration. Disponible en ligne à : https://roadecology.ucdavis.edu/files/content/projects/DOT-FHWA_Wildlife_Crossing_Structures_Handbook.pdf.
- CLEVENGER, A.P. et N. WALTHO, 2003. Long-term, year-round monitoring of wildlife crossing wstructures and the importance of temporal and spatial variability in performance studies. Dans : Leroy Irwin, C., P. Garrett et K.P. McDermott (édit.). *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation*. Raleigh, NC. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University. p. 293-302. Disponible en ligne à : <https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt3g69z4mn/qt3g69z4mn.pdf?t=kro995>.
- DE BELLEFEUILLE, S. et M. POULIN, 2004. Mesures de mitigation visant à réduire le nombre de collisions routières avec les cervidés. Ministère des Transports du Québec, Québec, 117 p. Disponible en ligne à : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0801739.pdf>.
- DUSSAULT, C., J.-P. QUELLET, R. COURTOIS, J. HUOT, L. BRETON et H. JOLICOEUR, 2005. Linking moose habitat selection to limiting factors. *Ecography*: 28 (5) : 619-628. Disponible en ligne à : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.2005.0906-7590.04263.x>.
- IUELL, B., G.J. BEKKER, R. CUPERUS, J. DUFEK, G. FRY, C. HICKS, V. HLAVÁČ, V. KELLER, C. ROSELL, T.SANGWINE, N. TØRSLØV et B. LE MAIRE WANDALL, 2007. Fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport. Faune et Trafic : Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions. Rapport COST 341. Traduction assurée par le Sétra, 156 p. Disponible en ligne à : http://www.tramevertebleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/faune_et_trafic.pdf.
- LABONTÉ, J., R. COURTOIS et J.-P. QUELLET, 1993. Déplacements et taille des domaines vitaux des orignaux (*Alces alces*) dans le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Québec, 26 p.
- LANGÉVIN, B. et H. BASTIEN, 2013. Inventaire aérien de l'orignal sur le territoire de la Seigneurie de Beaupré à l'hiver 2013, Québec, ministère des Ressources naturelles, Québec, 16 p. Disponible en ligne à : http://www.seigneuriedebeauvre.ca/documents/contenu/fsc_071_1_2_1.pdf.
- MRC DE CHARLEVOIX, 2016. Plan général d'aménagement forestier 2016-2020 — Forêt habitée du Massif. Territoire sous convention de gestion — MRC de Charlevoix. 52 p. Disponible en ligne à : <http://www.mrccharlevoix.ca/wp-content/uploads/2017/01/PGAF-2016-2020.pdf>.
- TECSULT AECOM INC., 2009. Inventaire des pistes d'orignaux en bordure de la route 138 dans le secteur des Caps, entre les km 423,5 et 441,5, Été et automne 2008. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, Québec, 17 p.
- TECSULT INC., 2003. Collisions avec la grande faune dans le secteur des Caps, route 138, Petite-Rivière-Saint-François. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, Québec, 52 p.
- TECSULT INC., 2005. Projet d'amélioration de la route 175 à quatre voies divisées du kilomètre 60 au kilomètre 84 par le ministère des Transports du Québec — Analyse globale de la problématique de la grande faune et la route 175 entre les kilomètres 74 et 84. Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, 26 p. Disponible en ligne à : http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/r175-60_227/documents/DA14b.pdf.
- VÅRE, S., 2002. The follow-up research on moose and other wild animals at Pernaja European Highway E18. Finish Road Administration. Report 2/2002. 11 p. Disponible en ligne à : <https://escholarship.org/uc/item/777402x2>.

Conception et construction des aménagements relatifs aux cerfs de Virginie le long de l'autoroute Robert-Cliche (A-73) au Québec

Pierre-Michel Vallée, Jacques Bélanger et Jacques Fortin

Résumé

Des mesures d'atténuation des impacts et d'intégration à l'habitat hivernal du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) ont été appliquées à un projet autoroutier de plus de 50 km dans la région de la Chaudière-Appalaches, au Québec. Des clôtures hautes, des rampes de fuite ou sautoirs, des passages fauniques et d'autres mesures ont été conçus et construits en plusieurs séquences sur une période de 12 ans, soit de 2004 à 2016. Outre la description des aménagements et des enjeux propres à chacun, l'article expose différents problèmes rencontrés ainsi que l'évolution qu'ils ont induite dans la conception et la mise en place des aménagements. Des suggestions sont énoncées à l'intention des concepteurs de projets routiers incluant de telles mesures. Elles soulignent notamment l'importance de déterminer leur emplacement sur la base d'observations faites sur le terrain, avant et pendant la réalisation des travaux, et celle d'émettre des directives précises dans les documents contractuels et lors de la surveillance de chantier, afin de favoriser le maintien de la végétation aux abords des aménagements.

MOTS CLÉS : aire d'hivernage, clôture à cervidés, passage faunique, rampe de fuite, route

Abstract

During the construction of a 50 km-long section of highway in the Chaudière-Appalaches region of Québec (Canada), measures were taken to minimize the impact of the project on, and to facilitate its integration within, wintering habitat used by white-tailed deer. High fences and jump-outs, as well as safe wildlife crossings and other mitigation measures were designed and constructed, in several stages, over the 12-year period from 2004 to 2016. This article provides a description of the different systems used and the inherent challenges of each. Emphasis is placed on the various problems encountered and the alterations that were made with regards to their design and installation to overcome these. Suggestions are proposed for the designers of infrastructure projects seeking to implement similar measures, including the importance of determining the best location based on field observations made before and during the construction phase, and of issuing clear directives in all contracts and site surveillance documents, to ensure the protection of surrounding vegetation cover.

KEYWORDS: deer fences, highway, jump-out, wildlife crossings, wintering area

Introduction

Les aires de confinement hivernal du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), ou ravages, sont des habitats essentiels qui doivent être protégés au sens du Règlement sur les habitats fauniques¹. Lorsqu'il est inévitable d'y construire une infrastructure routière, différentes mesures de gestion peuvent être appliquées à la fois pour atténuer les effets sur les cerfs et leur habitat et pour réduire les risques d'accidents impliquant ces animaux.

Le propos de cet article est de partager l'expérience acquise par les auteurs depuis près de 20 ans, au fil de la conception, de la construction et du suivi de 4 tronçons d'une même autoroute aménagés au milieu de plusieurs habitats d'hiver du cerf de Virginie.

Contextes géographique et historique

L'autoroute Robert-Cliche (A-73) prend son origine immédiatement au sud de la ville de Québec, sur le territoire

de la ville de Lévis, dans la région administrative de la Chaudière-Appalaches. À partir du croisement de l'autoroute Transcanadienne (A-20/Jean-Lesage), en direction de la frontière avec l'État du Maine au sud-est, elle permet de relier les principales villes de la région de la Beauce, soit : Sainte-Marie, Beauceville et, depuis 2016, Saint-Georges. Il est important de noter que l'A-73 et ses aménagements s'insèrent dans un milieu agroforestier de tenure privée.

L'autoroute à 2 chaussées de 2 voies chacune sur 88 km de longueur a été construite par le ministère des Transports (ci-après le Ministère), en plusieurs étapes depuis les années 1970. C'est particulièrement aux prolongements 3 et 4 (construits de 2004 à 2007 et de 2010 à 2016, respectivement) au sud de Saint-Joseph-de-Beauce, ainsi qu'au récent doublement

Pierre-Michel Vallée et Jacques Fortin sont respectivement biologiste et technicien de la faune à la Direction générale de la Chaudière-Appalaches du ministère des Transports (MTQ).

pierre-michel.vallee@transport.gouv.qc.ca

Jacques Bélanger est biologiste, retraité du MTQ.

1. Le Règlement sur les habitats fauniques (chapitre C-61.1, r. 18) découle des articles 128.1, 128.6 et 128.18 de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (chapitre C-61.1).

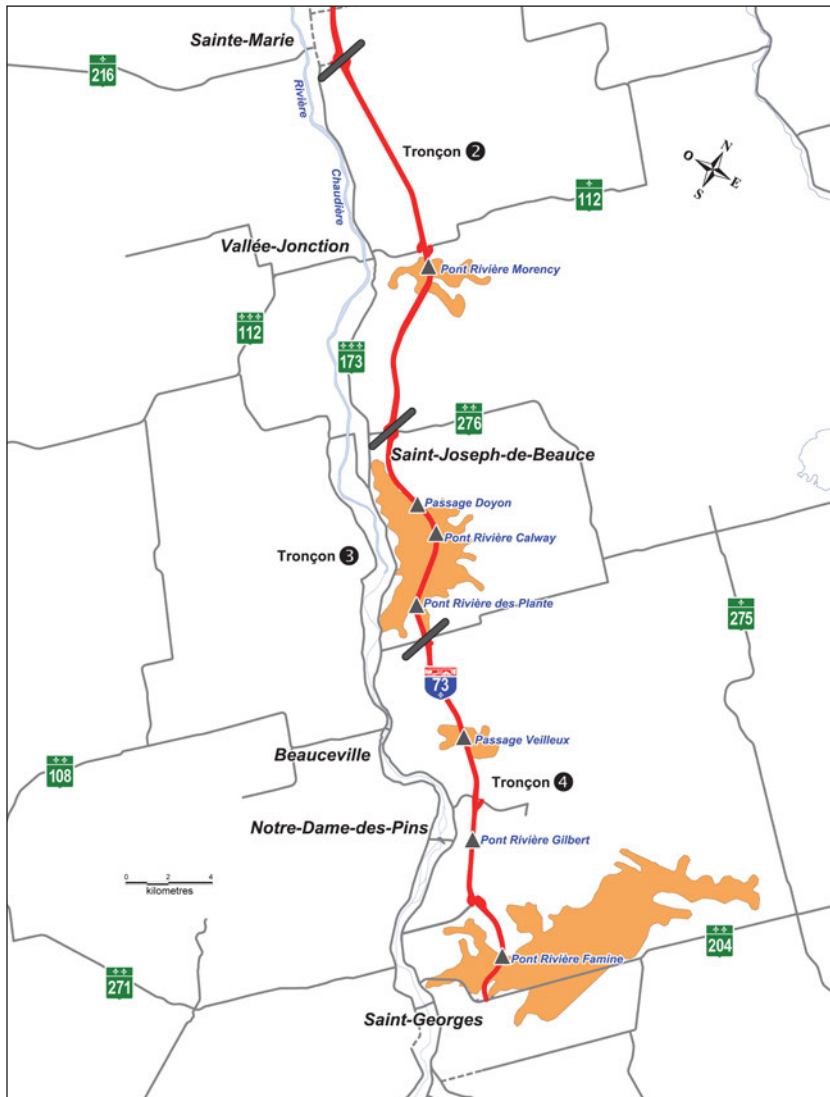


Figure 1. Carte illustrant les tronçons 2, 3 et 4 de l'autoroute 73 construits de 2004 à 2016 (délimités par les lignes obliques) ainsi que l'emplacement des ravages des cerfs de Virginie traversés par la route (zones ombrées), des passages dédiés et des ponts permettant leur passage (triangles).

de la chaussée sur le tronçon 2 et la moitié nord du tronçon 3 (construits de 2010 à 2016), que l'enjeu de la protection de l'habitat du cerf s'est imposé (figure 1).

Contexte faunique

Sur 90 % de sa longueur, le tracé autoroutier entre Sainte-Marie et Saint-Georges franchit des forêts mixtes de conifères et de feuillus qui forment, en plusieurs endroits, une mosaïque d'abris et de sites riches en nourriture, adéquate comme habitat d'hiver pour le cerf. Quatre zones de ravage sont identifiées sur cette distance dont deux plus formelles: le ravage de la rivière Calway et celui de la rivière Famine. Au moment de la conception du tronçon 3, au début des années 2000, la superficie du premier ravage était estimée à 15 km², et le nombre de cerfs le fréquentant, à plus de 300 (Tecsult Environnement inc., 2002), ce qui équivaut à une densité

de l'ordre de 20 cerfs/km². Ce ravage est aujourd'hui traversé sur une longueur de 6 km par l'autoroute. Vers 2001, au moment du dernier inventaire précédant l'étude d'impact sur l'environnement du tronçon 4, le ravage de la rivière Famine s'étendait perpendiculairement à l'axe routier sur 32 km², et la densité de cerfs y était estimée à 27,9 cerfs/km² (Genivar, 2009). Les 2 autres zones, situées à la hauteur de Vallée-Jonction et de Beauceville, étaient davantage des regroupements de petites aires d'hivernage utilisées à un degré variable selon les années précédant la conception des projets (J.-F. Dumont et B. Langevin, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs [MFFP], comm. pers.).

Phasage des études

La description du contexte du projet de construction du tronçon 3 est importante, car celui-ci constitue la première phase des travaux de construction de l'autoroute 73 à travers les habitats mentionnés précédemment. Le savoir-faire, acquis pendant la réalisation de ce tronçon, a été appliqué dans le cadre du prolongement du tronçon 4 et du doublement du tronçon 2.

La section nord du tronçon 3, entre Saint-Joseph et Beauceville, a été construite à 1 chaussée de 2 voies de circulation, alors que la section sud l'a été à 2 chaussées de 2 voies. Au moment de la conception de ce tronçon, le risque de collisions routières impliquant des cervidés était une préoccupation grandissante en Chaudière-Appalaches. La présence du ravage de la rivière Calway, dans l'aire d'étude du tracé routier projeté, a forcé le Ministère à aborder cet enjeu de front.

Une revue bibliographique a donc été réalisée afin d'analyser les caractéristiques de projets similaires au Canada et ailleurs dans le monde (Tecsult Environnement inc., 2003). Des inventaires aériens et terrestres ciblés, pendant quatre hivers, ont permis de mieux connaître l'utilisation du ravage par les cerfs dans différentes conditions (Tecsult Environnement inc., 2002). Également, le Ministère a convenu avec le MFFP de suivre conjointement l'efficacité des aménagements quant à la sécurité routière et à l'atténuation des impacts sur l'habitat naturel pendant 7 ans, y compris deux hivers avant la construction routière et deux hivers après l'ouverture de l'autoroute à la circulation. Ce suivi a permis de comparer certains paramètres avant, pendant et après la construction (Lavoie et collab., 2010). Ses principales conclusions, déjà publiées dans *Le Naturaliste canadien* (Lavoie et collab., 2012), sont que la superficie du ravage est restée relativement stable, et que les cerfs sont demeurés fidèles à leurs domaines

vitaux hivernaux. Les clôtures d'exclusion et les clôtures de déviation ont été efficaces, et les sautoirs ont été utilisés avec succès. Les passages fauniques ont été utilisés à des degrés divers par les cerfs; celui de la rivière des Plante l'a été surtout durant l'hiver, alors que les autres l'ont été davantage lors des déplacements saisonniers. Enfin, durant les 2 premières années de circulation, aucun accident impliquant le cerf n'a été signalé dans les limites de la zone clôturée.

Ces études ont permis de déterminer quelles caractéristiques des aménagements à construire permettraient d'atténuer les impacts de l'autoroute sur l'habitat du cerf de Virginie, d'abord dans le tronçon 3 et ensuite dans les tronçons 2 et 4. Les auteurs exposent ici les enjeux et les problèmes rencontrés lors des phases de conception et, surtout, de construction des différents projets de l'autoroute 73.

Les aménagements routiers liés aux cerfs de Virginie

Au terme des travaux sur les tronçons 2, 3 et 4, complétés en 2016, des clôtures d'exclusion le long de 21 km d'autoroute, 62 rampes de fuites et une dizaine de passages inférieurs, dédiés ou adaptés, ont été construits.

Les clôtures d'exclusion

Les caractéristiques

Pour l'ensemble des projets, une clôture métallique d'une hauteur de 2,4 m, à grillage rectangulaire sur des poteaux de métal, a été choisie. Un câble de tension surmonte la clôture pour prévenir les dommages lors de chutes de branches ou de petits arbres. La clôture a été installée le plus près possible du sol, avec un grillage resserré à la base pour limiter l'intrusion des petits et des moyens mammifères dans l'emprise.

Deux options ont été utilisées pour le croisement des petits cours d'eau et des fossés. Lorsque possible, la clôture a été ramenée sur la tête du ponceau ou du tuyau afin d'éviter qu'elle soit fragilisée et qu'elle fournisse aux cerfs des occasions d'intrusion. Dans les autres cas, des sections de grillage ont été ajoutées au bas de la clôture pour restreindre l'ouverture au-dessus du cours d'eau ou du fossé; le fond de ce dernier a été couvert de pierres dynamitées sur quelques mètres de longueur.

L'effet de bout

Un risque appréhendé lié aux extrémités des zones clôturées était que les traversées de l'autoroute par les cerfs y soient concentrées. Pour diminuer cet effet de bout, il nous apparaissait souhaitable d'ajouter une section à angle (aigu ou perpendiculaire) à l'extrémité des clôtures pour obliger les cerfs, qui longent la clôture de l'extérieur à s'éloigner de l'emprise. Le contexte d'acquisition de terrains privés pour la construction de l'autoroute a toutefois restreint l'application de cette mesure. Seulement quelques clôtures de déviation ont été installées dans des parcelles de terre résiduelles qui étaient devenues propriété du Ministère, ou le long de routes secondaires croisant l'autoroute.

Ainsi, pour l'ensemble des segments autoroutiers fermés aux cerfs de Virginie, l'extrémité proprement dite de la clôture a été aménagée selon l'une des options suivantes: à une culée d'une structure (figure 2A), sur le dessus d'un cap rocheux (figure 2B) ou derrière une glissière de sécurité (figure 2C), laquelle protège les usagers de la route d'un obstacle fixe. En fait, le principe était de rapprocher la fin de clôture de la chaussée de façon à limiter la largeur de l'ouverture qui permettrait l'entrée de la faune sur la route (Tecsult Environnement inc., 2003). En outre, une réticence à enjamber une glissière de sécurité avait été observée chez les cerfs (Y. Leblanc, AECOM [anciennement Tecsalt Environnement inc.], comm. pers.).



Figure 2. Photos des extrémités de clôture à cervidés : aux culées de structures (A), sur le dessus d'un cap rocheux (B) et derrière une glissière de sécurité (C).

Au moment de la conception du tronçon 3, les auteurs consultés suggéraient que la longueur de la clôture excède de 500 à 800 m la fin des zones jugées dangereuses (Tecsult Environnement inc., 2003). Or, dans le cadre de ce tronçon, le milieu forestier ainsi que les signes de présence du cerf se prolongeaient au-delà de la limite nord du ravage. Comme il s'agissait d'une première expérience en Chaudière-Appalaches, la zone clôturée a été restreinte aux limites de l'habitat hivernal reconnu par le MFFP. Cette décision a toutefois eu des impacts lors du doublement des tronçons 2 et 3 de l'autoroute entre Sainte-Marie et Beauceville, puisque, quelques années plus tard, des accidents ont justifié le prolongement des clôtures sur près de 1,5 km vers le nord.

Les problèmes rencontrés en chantier

Pendant la réalisation des travaux, un des problèmes rencontrés est lié au fait que les clôtures ont été mises en place en fin de chantier. La circulation, à cette fin, de la machinerie a contribué à endommager les sols (compaction, orniérage, etc.), ce qui a eu pour effet de retarder la reprise de la végétation, qui est déjà difficile dans les sols perturbés par la construction routière. Ainsi, dans les projets subséquents, des correctifs ont dû être apportés (nivellement et rétablissement du drainage) avant la végétalisation.

Les rampes de fuite

Un concept évolutif

La mise en place d'une clôture à cervidés ne peut se faire sans l'aménagement de sorties à sens unique, dans ce cas-ci des rampes de fuite ou sautoirs. Elles sont formées d'un plateau surélevé, accessible par une pente douce (rampe) du côté de la route, vis-à-vis duquel la clôture est interrompue pour faciliter le saut de l'animal vers le milieu naturel (figure 3A). Du côté opposé, le sautoir est constitué d'un muret vertical dont la hauteur empêche le cerf de voir au-delà et le décourage de sauter en direction de la route (figure 3B).

L'aménagement du tronçon 3 vers Beauceville a été l'occasion de quelques essais avant d'arriver au concept approprié. La première version du sautoir présentait les caractéristiques suivantes : un plateau d'une largeur de 5 m, un muret d'une hauteur minimale de 1,8 m, une clôture médiane haute de 0,6 m et une clôture d'exclusion s'interrompant au bas du muret. En cours de chantier, les constats suivants ont été faits à partir d'observations de cerfs et de suivis de pistes : certains animaux hésitaient à sauter en bas du muret à cause de sa hauteur, d'autres sautaient par-dessus la clôture médiane et un animal s'est même trouvé coincé entre le muret et la clôture d'exclusion.



MTQ



Figure 3. Photos de rampes de fuite : les deux photos du haut montrent une vue à partir de la chaussée (A) et à partir de l'extérieur de l'emprise (B). Les photos C et D illustrent le résultat des efforts mis en plantation.

Par conséquent, le concept du sautoir a été modifié comme suit : hauteur du muret diminuée à 1,5 m, nettoyage des buttes et des racines au pied du muret et aménagement d'une trappe de sable pour atténuer l'impact du saut, hauteur de la clôture médiane rehaussée à 1,2 m et fin de la clôture d'exclusion sur le dessus du muret (plutôt qu'à son pied). Malheureusement, cette dernière modification a entraîné des intrusions dans l'emprise routière, car des cerfs de Virginie ont utilisé l'escalier formé par l'extrémité du muret pour grimper le long de la clôture d'exclusion et accéder au plateau du sautoir.

Dans les projets subséquents, le concept de sautoirs utilisé présente donc les caractéristiques de la seconde version; toutefois, la clôture d'exclusion le long de la pente du sautoir se termine dorénavant par une section qui déborde du muret vers l'extérieur afin de fermer l'escalier.

L'emplacement

Les sautoirs ont été espacés d'au plus 800 m. Lors de la conception du projet, l'expérience acquise au Nouveau-Brunswick dans le cadre de la construction de l'autoroute Transcanadienne a été mise à profit et il a été décidé de ne pas déterminer, sur les plans, les emplacements précis des sautoirs (Y. Leblanc, comm. pers.). Le choix final a plutôt été fait en chantier afin de profiter d'une vue d'ensemble, une fois les travaux de déboisement réalisés et la limite de l'emprise marquée sur le terrain. Cela a permis de sélectionner les meilleurs sites : en contrebas de la chaussée, vis-à-vis des sentiers ou des trouées dans les boisés adjacents à la route, près des ponts et des ponts d'étagement, etc.

La végétalisation

Finalement, afin de maximiser le succès de franchissement des rampes de fuite, un effort important a été apporté à leur végétalisation. Le but était d'y créer des refuges de végétation permettant aux cerfs de s'y abriter et, ainsi, de mieux percevoir l'ouverture vers la forêt (figure 3 C et D). Sur la base de l'expérience acquise au fil des projets, des essences arbustives à croissance rapide ont été choisies, dont le physocarpe à feuilles d'obier (*Physocarpus opulifolius*) et le chèvrefeuille de Tartarie 'Liberté' (*Lonicera tatarica* 'Freedom') ainsi que des conifères (mélèze laricin [*Larix laricina*], épinette blanche [*Picea glauca*]).

Les passages

Les choix de sites et dimensions

Au total, sur les 21 km d'autoroute clôturés en quatre tronçons distincts, deux portiques (ponceaux rectangulaires de grande dimension) dédiés à la faune, cinq ponts au-dessus de rivières et deux ponts d'étagement au-dessus de routes à très faible débit routier ont été aménagés afin d'assurer la connectivité des habitats de part et d'autre du corridor autoroutier (figure 4). Le terrain sous les autres structures situées à l'extérieur de ces zones a aussi été réaménagé pour favoriser des traversées sécuritaires.

Les vallées de cours d'eau constituent souvent des corridors de déplacement préférés pour la grande faune

(Tecsult Environnement inc., 2003). Cela s'est largement confirmé lors des inventaires de pistes et de sentiers d'hiver réalisés avant la construction du tronçon 3 (Tecsult Environnement inc., 2002). Ainsi, les ponts des rivières Calway et des Plante (figure 4A) sont des ouvrages de très longue portée (120 et 177 m, respectivement) qui permettent, moyennant des aménagements appropriés, le passage des cervidés (Lavoie et coll., 2010). Il est à noter que la portée de ces ponts résulte principalement d'une faible capacité portante des sols. Sous le pont de la rivière Famine (figure 4B) dans le tronçon 4, un replat a été aménagé à mi-pente d'un haut talus. À chacun des passages, des sections de fossés protégés par un empierrement de gros calibre ont été remplacées par des tuyaux recouverts de terre pour faciliter les déplacements des ongulés.



Figure 4. Photos du pont de la rivière des Plante (A), du pont de la rivière Famine (B) et du passage du ruisseau Doyon (C).

Les études de pistes et de sentiers d'hiver ont également permis d'identifier certains corridors de déplacement à l'extérieur des vallées des principaux cours d'eau. Les passages dédiés aux croisements des tributaires des ruisseaux Doyon (figure 4C) et Veilleux en sont de bons exemples. Ces sites ont été choisis en fonction, d'une part, du relief et du profil vertical de la route au voisinage de petits cours d'eau et, d'autre part, de l'usage des lieux par les cerfs. Les dimensions de ces 2 passages dédiés (largeur de 10 m, hauteur de 5 m et longueur de moins de 14 m) ont été inspirées de la littérature (notamment Clevenger, 1998; Hobe et collab., 1998; Müller et Berthoud, 1997) et adaptées au contexte du milieu.

Des observations réalisées au passage du ruisseau Doyon par l'un des auteurs ont fait supposer que le reflet du soleil sur le béton poli des murs latéraux (qui servent à soutenir le remblai) entraînait des refus de passages (figure 5A). Pour éviter cela, il a été convenu d'utiliser des blocs à face éclatée sur les structures subséquentes (figure 5B). Cette solution, combinée à l'aménagement d'une végétation qui, après quelques années de croissance, constitue un écran devant les murs en béton poli, a permis de ne plus observer de refus aux mêmes conditions de luminosité.

Aux sites des différents passages, des portes ou barrières ont été installées dans la clôture à cervidés de façon à permettre l'accès aux travailleurs et à la machinerie pour les inspections et l'entretien des structures.

Le maintien de la végétation

Lors de la conception des aménagements, un effort important a été accordé pour préserver la végétation existante afin de maintenir des superficies minimales de boisés, à proximité des passages, à titre de couvert d'approche ou de fuite pour la faune. À cette fin, des servitudes de non-déboisement ont été prises aux 4 angles des traversées de cours d'eau ou de routes, au moment de l'acquisition des terrains nécessaires à la construction de l'autoroute.

Dans le même ordre d'idées, au site du passage Veilleux dans le tronçon 4, des balises précises ont été inscrites aux plans et devis afin de préserver l'étroite bande boisée existante qui sépare l'autoroute d'une emprise de transport d'énergie.

Par ailleurs, la surface sous un pont ou dans un passage doit être la plus naturelle possible, et la conservation de la végétation naturelle doit être encouragée (Müller et Berthoud, 1997; Ruediger, 2001). Or, sur plusieurs chantiers, le maintien de bandes de végétation en rives de cours d'eau, sous les gros ponts, a présenté quelques difficultés. Les contraintes de construction, notamment pour les ponts temporaires et les excavations profondes, n'ont pas toujours permis de conserver les bandes boisées identifiées aux plans. Par conséquent, il a fallu végétaliser de plus grandes superficies de rives et de talus que prévu. Dans le tronçon 4, cette difficulté a été rencontrée lors de la construction des ponts des rivières Gilbert et Famine.



Figure 5. Photo illustrant l'éblouissement causé par le revêtement poli des murs d'ailes du premier portique du passage du ruisseau Doyon (A) et photo du revêtement en pierres fragmentées des murs d'aile du second portique du passage du ruisseau Doyon (B).

Le doublement de l'autoroute et les mesures connexes

À la hauteur de Vallée-Jonction, dans le tronçon 2, des clôtures à cervidés ont été installées lors du doublement de la chaussée. Les cerfs circulaient déjà sous les 2 ponts de ce tronçon. Une attention particulière a donc été apportée afin de reproduire les conditions favorables au passage sous la nouvelle chaussée, dans le cas d'un chemin de villégiature et pour un sentier de moins d'un mètre de largeur à flanc de talus.

Sous certaines structures, tant du doublement que du prolongement routier, la circulation de motoneiges et d'autres véhicules hors route est apparue comme potentiellement problématique. En effet, si le traçage de sentiers dans la neige peut faciliter les déplacements du cerf, un débit trop grand de ces véhicules peut devenir une source de dérangements excessifs et, comme le ferait toute utilisation des passages fauniques par l'homme, dissuader la faune de les emprunter (Clevenger, 2012). Certaines mesures ont été prises pour essayer de diminuer ces dérangements: rétrécissement d'un sentier, installation d'obstacles aux approches du passage, etc. Même en terrain privé, la circulation de véhicules hors route ainsi que le vandalisme des clôtures demeurent difficiles à contrer efficacement et de façon durable.

Des contraintes ont été appliquées en chantier pour réduire le dérangement des cerfs pendant l'hivernage. En effet, outre la période de restriction usuelle des travaux dans l'eau pour la protection du cycle vital de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) et celle applicable au déboisement pour protéger la nidification de l'avifaune, des restrictions aux travaux de déboisement et à ceux causant des vibrations et

des bruits importants (p. ex., le dynamitage et le fonçage de pieux) ont été imposées dans l'habitat du cerf pendant les mois d'hiver. La planification des travaux a dû être adaptée et, par conséquent, plusieurs contrats de déboisement distincts des contrats de construction ont été attribués. Certains travaux potentiellement dérangeants ont finalement été autorisés en marge des habitats vitaux ou de la période ciblée, sur la base du suivi au jour le jour de l'utilisation des aires de confinement par les cerfs et grâce à la collaboration du MFFP.

Bilan de l'efficacité des mesures

Comme mentionné précédemment, les aménagements du tronçon 3 ont fait l'objet d'un suivi élaboré dont les résultats ont déjà été rapportés (Lavoie et collab., 2012). Ils couvrent notamment une période de 2 ans après l'ouverture de la route à la circulation, soit de 2007 à 2009. L'utilisation des aménagements des autres tronçons a fait l'objet de suivis qualitatifs débutés de 2011 à 2016, selon les dates de fin des travaux de construction.

Dans l'ensemble, toutes les structures aménagées en passages à cervidés sont utilisées par les cerfs. L'efficacité avérée des clôtures et des sautoirs résulte en des taux de collisions véhicule-faune très faibles, voire nuls, dans les zones ainsi protégées. En effet, sur la base du registre ministériel des carcasses d'animaux recueillies en bordure des routes, la zone clôturée du tronçon 3, d'une longueur de 6,5 km portée à 8 km en 2011, présente 7 accidents impliquant des cerfs de 2009 à 2017, soit un taux de 0,1 accident/km/année. Au tronçon 4, un seul accident de ce type s'est produit, dans la zone clôturée de 5 km de longueur de part et d'autre du passage du ruisseau Veilleux. Il faut toutefois considérer cette dernière donnée avec réserve, puisque le suivi ne couvre que l'année 2017, ce tronçon routier n'ayant été ouvert à la circulation qu'à l'automne 2016. Quant aux 2 autres zones clôturées, soit celle de la rivière Famine (environ 2,5 km) et celle du tronçon 2 (5 km), aucun accident faune-véhicule n'a été répertorié pour des périodes respectives de 6 et 4 ans. À titre indicatif, selon le Diagnostic de la sécurité routière, lequel est basé sur les rapports d'accident des corps policiers, ce dernier tronçon présentait 16 accidents sur 5 années, de 2006 à 2010, soit les années précédant le doublement de la chaussée autoroutière et l'installation de la clôture. Ces suivis, tout comme l'inspection régulière et l'entretien annuel, se poursuivent pour l'ensemble des aménagements.

Bien entendu, il est souhaitable d'éviter d'avoir à construire une route dans un habitat essentiel du cerf de Virginie. Dans l'éventualité où un tel projet soit incontournable, il est recommandé d'intégrer des mesures d'atténuation telles que celles décrites dans cet article. À la lumière des projets de l'A-73, les principales suggestions seraient de réaliser tous les inventaires pertinents sur le terrain avant la conception des mesures et d'adapter en chantier, au besoin, le choix d'emplacement et le concept des aménagements planifiés sur papier. Une surveillance en continu des travaux et une association étroite avec les gestionnaires de la faune à toutes les étapes du projet s'avèrent des clés importantes de succès. Un

effort important doit également être consacré à la préservation de la végétation existante et à une végétalisation des surfaces perturbées par les travaux de construction.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier pour leur contribution au fil des projets : du MTQ, les ingénieurs Pierre Robitaille et Sylvie Lessard, Normand Desbiens, professionnel en environnement, et les nombreux ingénieurs et techniciens, ainsi que Yves Leblanc, consultant en environnement, les consultants en génie civil et, non les moindres, les collègues du MFFP. Ils remercient aussi les réviseurs scientifiques et l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leurs commentaires qui ont permis de bonifier cet article. ◀

Références

- CLEVENGER, A.P., 1998. Permeability of the Trans-Canada highway to wildlife in Banff National Park: Importance of crossing structures and factors influencing their effectiveness. Dans : Proceedings of the 1998 International Conference on Wildlife Ecology and Transportation, Fort Myers, Floride, 9-12 février 1998, p. 109-119.
- CLEVENGER, A.P., 2012. Leçons tirées de l'étude des passages fauniques enjambant une autoroute dans le parc national de Banff. *Le Naturaliste canadien*, 136 (2): 35-41.
- GENIVAR, 2009. Prolongement de l'autoroute 73 entre Beauceville et la route 204 Est à Saint-Georges. Rapport d'examen préalable. Version finale. Rapport de GENIVAR, Société en commandite pour le ministère des Transports du Québec présenté à Transports Canada, 317 p. et annexes.
- HOBÉ, P., J.-F. BELLONE et J.-F. MOREL, 1998. Un franchissement animalier sous l'A75 en Lozère. Dans : Actes des 3^e rencontres « Route et Faune sauvage », 30 septembre au 2 octobre 1998, Strasbourg, p. 353-355.
- LAVOIE, M., S. DESJARDINS, B. LANGEVIN, S. COUTURIER, J. BÉLANGER, F. HUDON, C. DAIGLE, S. ST-ONGE et J. FORTIN, 2010. Suivi des impacts du prolongement d'une autoroute sur le cerf de Virginie – Autoroute Robert-Cliche (73), Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune et ministère des Transports du Québec, 84 p. + annexes. Disponible en ligne à : https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/projets/reseau-routier/projets-routiers/chaudiere-appalaches/autoroute-73-robert-cliche/Documents/Document/Document/suivi_impact_cerf.pdf.
- LAVOIE, M., S. DESJARDINS, B. LANGEVIN, S. COUTURIER, J. BÉLANGER, F. HUDON, C. DAIGLE, S. ST-ONGE et J. FORTIN, 2012. Réponses comportementales de cerfs de Virginie à la suite de la construction d'une autoroute traversant leur aire d'hivernage au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 136 (2) : 54-60.
- MÜLLER, S. et G. BERTHOUD, 1997. Sécurité faune/trafics. Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils. 3^e édition. Département de génie civil, Laboratoire des voies de circulation (LAVOC), Lausanne, Suisse, 124 p.
- RUEDIGER, B., 2001. High, wide and handsome: designing more effective wildlife and fish crossings for roads and highways. Proceedings of the 2001 International Conference on Wildlife Ecology and Transportation, Keystone, Colorado, 24-28 septembre 2001, p. 509-516. Disponible en ligne à : <https://escholarship.org/uc/item/6m2252jz>.
- TECSULT ENVIRONNEMENT INC., 2002. Inventaire des pistes et des sentiers de cerfs de Virginie dans le ravin de Rivière-Calway à l'hiver 2001-2002. Étude d'impact sur l'environnement pour le prolongement de l'autoroute 73, Québec, 34 p. + annexes.
- TECSULT ENVIRONNEMENT INC., 2003. Mesures d'atténuation pour le prolongement de l'autoroute Robert-Cliche (73) entre St-Joseph-de-Beauce et Beauceville, M.R.C. Robert-Cliche : recherche bibliographique sur les clôtures et les passages pour la grande faune/cerf de Virginie – Version préliminaire, 34 p. + annexes.

Élargissement de l'autoroute 69 : la route sous le premier écopont de l'Ontario

Andrew Healy

Résumé

La nouvelle autoroute 69 à 4 voies au sud de Sudbury, en Ontario, est un modèle d'intégration de considérations écologiques aux phases de conception et de construction d'une autoroute. La section de 10 km au nord de l'autoroute 637, achevée en 2012, comprend le premier réseau intégré de la province en ce qui concerne les passages fauniques tant pour les grands mammifères que pour les reptiles, ainsi que le premier passage faunique supérieur (écopont) de l'Ontario. Cet article présente le processus de planification entrepris lors du projet, les détails de conception, et les résultats des 5 premières années d'évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation d'impacts sur la grande faune. Le suivi post-construction continue à faire ressortir les succès et les défis des mesures d'atténuation, et il influencera les modifications à apporter dans les contrats de construction au cours des prochaines phases d'élargissement de l'autoroute, de la conception à la construction. L'objectif ultime est de construire 140 km d'autoroute à 4 voies et d'en faire la section autoroutière présentant le plus de mesures d'atténuation d'impacts sur la faune en Ontario, tant pour les grands mammifères que pour les espèces de tortues et de serpents en situation précaire.

MOTS-CLÉS : clôture d'exclusion, élargissement d'autoroute, évaluation environnementale, passage faunique, suivi de l'efficacité des mesures d'atténuation

Abstract

The new four-lane Highway 69 south of Sudbury (Ontario, Canada) is a model for integrating ecological considerations into highway design and construction. The 10 km section north of Highway 637 that was completed in 2012, includes the first integrated network of wildlife crossings for large animals and reptiles in the province, and its first wildlife bridge. This paper highlights the planning process undertaken for the project, the design details, and the results from 5 years of effectiveness monitoring of the mitigation system for large animals. Post-construction monitoring continues to highlight the successes and challenges of the mitigation system, and ensures that design modifications are implemented into new construction contracts as the highway expansion continues. The goal is that the eventual 140 km of newly expanded four-lane highway will form the most extensively mitigated freeway in the province for large animals, and endangered turtles and snakes.

KEYWORDS: effectiveness monitoring, environmental assessment, exclusion fencing, highway expansion, wildlife crossing

Introduction

Au sud de Sudbury, en Ontario, perché sur un affleurement de granite, l'écopont de Burwash est difficile à ne pas remarquer lorsqu'on circule sur la partie de l'autoroute 69 nouvellement élargie à 4 voies. Depuis l'autoroute, il est possible d'observer les illustrations d'espèces fauniques indigènes ornant les bordures de béton de chaque côté de ce passage faunique supérieur. Si les conducteurs ont la chance d'apercevoir de véritables espèces fauniques, celles-ci seront protégées par des clôtures d'exclusion les guidant afin qu'ils franchissent l'autoroute de manière sécuritaire par-dessus l'écopont.

L'élargissement de la section de 10 km de l'autoroute 69, au nord de l'autoroute 637, à Burwash, a été complété en 2012. Cette nouvelle section d'autoroute à 4 voies représente le premier cas de construction d'un réseau intégré de passages fauniques pour les grands mammifères et pour les reptiles, dont le premier passage faunique supérieur (écopont) en Ontario. Ce réseau a fait l'objet d'un suivi intensif depuis 2012 afin de fournir des données et de tirer des leçons à considérer lors de l'intégration des mesures d'atténuation d'impacts sur la faune aux prochaines phases d'élargissement de l'autoroute.

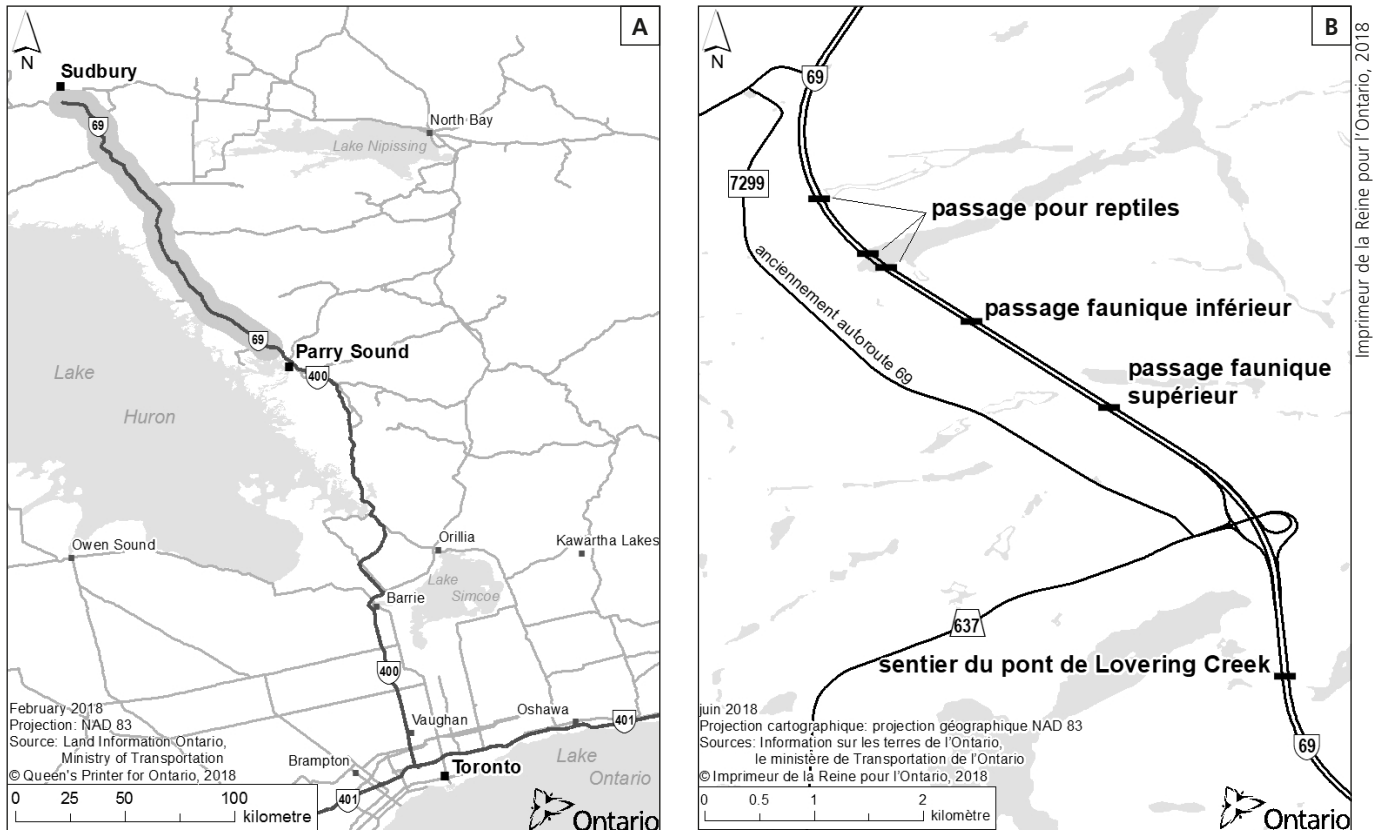
Situation géographique du projet

L'autoroute 69 est une voie de transport provinciale qui relie la fin de l'autoroute 400 à 4 voies située à Nobel (Ontario), à l'intersection avec l'autoroute 67 à Sudbury, à 140 km au nord (figure 1a). Sur ces 140 km, 58 km ont fait l'objet d'un élargissement à 4 voies, 14 km sont en cours d'élargissement à 4 voies, et 68 km sont maintenus à 2 voies pendant la phase d'études d'impacts sur l'environnement (EIE). Une fois que toutes les sections restantes seront passées à 4 voies, l'autoroute 69 sera rebaptisée « autoroute 400 » sur toute sa longueur.

L'autoroute 69 traverse des paysages forestiers relativement intacts et isolés des grands centres urbains, avec de fréquents affleurements rocheux et des pochettes de milieux humides. Ce secteur représente un habitat de choix pour plusieurs espèces, y compris l'orignal (*Alces americanus*), le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), l'ours noir (*Ursus*

Andrew Healy est planificateur en environnement pour la région du Nord-Est au ministère des Transports de l'Ontario (MTO).

Andrew.Healy@ontario.ca



americanus) et le loup gris (*Canis lupus*). La partie nord de l'autoroute traverse l'habitat d'une population de wapitis (*Cervus canadensis*) introduite à la fin des années 1990. La partie sud de l'autoroute traverse la Réserve de biosphère de la baie Georgienne (RBBG) inscrite au patrimoine naturel de l'UNESCO, qui comprend le plus grand archipel d'eau douce au monde. La RBBG procure des habitats importants pour plusieurs espèces en situation précaire en Ontario ou au Canada, dont la plus grande population canadienne de massassauga (*Sistrurus catenatus*) (UNESCO, 2018).

Processus d'évaluation environnementale

Le processus de planification publique exigé en vertu de la *Loi sur l'évaluation environnementale* de l'Ontario s'est avéré être un facteur déterminant dans l'inclusion de mesures d'atténuation des impacts sur la faune au sein du projet d'élargissement de l'autoroute. La conception et le processus d'EIE pour un nouveau projet d'autoroute démarrent généralement 10 à 20 ans avant la construction. La première étape de tels projets est celle de la planification de l'emprise routière, au cours de laquelle plusieurs choix d'emplacements sont considérés et évalués, afin de prendre en compte l'ensemble des aspects socio-économiques, environnementaux et d'ingénierie. Lors de cette étape, des engagements sont pris à un haut niveau dans le but d'arriver à un règlement des

enjeux ou à atténuer les impacts identifiés par l'équipe de conception ou soulevés lors des consultations publiques. À mesure que la conception et le processus d'EIE progressent, la conception préliminaire puis la conception plus détaillée sont des étapes fournissant l'occasion d'avancer vers une meilleure définition du projet, une résolution des enjeux soulevés et une intégration plus définitive des mesures d'atténuation.

Lors du passage en revue de la chronologie des rapports d'EIE pour l'élargissement de la nouvelle autoroute, il est intéressant de noter l'inquiétude croissante du public envers les collisions véhicules-faune et l'évolution des réponses apportées par le gouvernement à ce sujet. La première étude d'EIE date de 1995, alors que les collisions véhicules-faune et la mortalité routière animale sortaient en tête de liste des préoccupations de la population. À cette époque, le ministère des Transports de l'Ontario (MTO) était cependant réceptif à ces préoccupations et avait envisagé un changement de pratiques en matière de conception autoroutière. Ceci est particulièrement évident dans une lettre ouverte du MTO qui proposait une réponse aux inquiétudes exprimées : « Les habitudes de déplacement des animaux sauvages et leur utilisation des habitats naturels se modifient avec le temps. C'est pourquoi les structures proposées pourraient s'avérer inefficaces dans la réduction des mortalités routières animales au sein de la zone d'étude » (MTO, 2004).

Par la suite, des changements au sein du gouvernement provincial ont fait en sorte que le processus d'EIE pour l'élargissement de l'autoroute 69 a été mis en attente jusqu'en 2004. Au cours de cette décennie, les connaissances en écologie routière sur les mesures d'atténuation des impacts sur la faune ont progressé, et de nouvelles conceptions autoroutières adaptées ont fait leur apparition dans l'Ouest canadien (Clevenger et collab., 2009). Le processus d'EIE ayant finalement repris son cours dans le projet d'élargissement de l'autoroute 69, les préoccupations liées aux occurrences élevées de collisions véhicules-faune ont refait surface. Ces études ont rapporté que 34 % des accidents routiers étaient causés par des collisions avec la faune, et que les zones de fortes concentrations d'accidents coïncidaient avec l'emplacement des habitats aquatiques utilisés par l'orignal pour son alimentation, ainsi qu'avec les corridors de déplacements saisonniers du cerf de Virginie et de l'orignal. Les attentes des partenaires et autres parties prenantes au projet quant à la réduction des collisions véhicule-faune ont elles aussi augmenté à cette période. Ainsi, en 2004, la sortie du *Rapport sur la planification de l'emprise autoroutière et l'étude d'impacts sur l'environnement* a mené à un engagement ministériel envers la mise en place de deux structures destinées aux passages fauniques, ainsi que des clôtures d'exclusion le long du tronçon de 10 km de l'autoroute 69 situé au nord de l'autoroute 637 (MTO, 2004).

En 2006, à la suite de l'étude de planification du tracé de l'autoroute, une EIE distincte sur la conception préliminaire des passages fauniques a été initiée, avec pour unique objectif d'évaluer les différents types de structures de passages fauniques envisageables et leur emplacement possible au sein du tronçon de 10 km (MTO, 2007). Cette étude incluait des consultations avec le grand public, les organismes non gouvernementaux en environnement et les représentants d'autres ministères provinciaux. Étant donné l'absence de normes, de standards ou d'autres exemples de structures destinées au passage de la faune en Ontario, l'étude s'est penchée sur des exemples issus d'autres juridictions, en les adaptant à la géographie et aux particularités locales des espèces sauvages concernées, principalement le cerf de Virginie et l'orignal. Les recommandations de cette étude comprenaient la construction d'un grand passage faunique supérieur (écopont) et d'un grand passage faunique inférieur (écoduc) environ 1 km au nord. La construction de ces deux structures si rapprochées l'une de l'autre allait fournir l'occasion, grâce au suivi scientifique post-construction, de déterminer le meilleur concept pour le passage des principales espèces. L'étude recommandait également la mise en place d'un grand passage faunique à la hauteur du nouveau pont de Lovering Creek, ainsi que celle de structures plus modestes pour le passage de la tortue mouchetée (*Emydoidea blandingii*), une espèce de reptile menacée au Canada dont l'un des habitats critiques allait être scindé en deux par la nouvelle autoroute (figure 1b) (MTO, 2007).

Conception et détails de construction des passages fauniques

Écopont de Burwash (passage faunique supérieur)

L'écopont de Burwash est entièrement composé de béton et constitué de 2 sections de ponts bout à bout qui reposent sur des affleurements rocheux (figure 2a). Les dimensions finales totales de la structure combinant les 2 ponts sont de 70 m de long et de 30 m de large. Le tablier de l'écopont a été aménagé afin de recréer un environnement relativement naturel, avec un substrat de 60 cm de terre sur lequel poussent des arbres, des arbustes et des herbacées indigènes (figure 2b). L'écopont a été conçu de façon à pouvoir supporter le poids additionnel du sol et de la végétation, ainsi que les fortes précipitations et les accumulations de neige. L'accès à l'écopont par le public est interdit. Des panneaux d'interdiction de stationnement ont été installés sur l'autoroute à proximité de l'écopont, et la barrière restreignant l'accès piétonnier est cadenassée. Le coût total de construction de cette structure s'élève à environ 2,9 millions \$ CA.



Figure 2. Passage faunique supérieur (écopont) de Burwash : a) implantation au niveau d'un point de concentration des collisions véhicules-faune, afin de réduire les impacts de la construction de l'autoroute sur le corridor de déplacement de la faune; b) plantation d'espèces indigènes d'arbres, d'arbustes et d'herbacées sur le tablier de l'écopont.

Écoduc de Burwash (passage faunique inférieur)

Le passage faunique inférieur (ou écoduc) de Burwash est formé de 2 ponceaux carrés en béton de 5 m × 5 m, disposés face-à-face : l'un sous les voies de circulation en direction nord de l'autoroute et l'autre sous les voies en direction sud (figure 3). Cet écoduc comprend une partie médiane à ciel ouvert (clôturée), qui réduit l'effet de tunnel pouvant se produire lorsque de longs passages couverts sous les routes ne sont pas utilisés par la faune, qui les perçoit comme étant trop sombres ou trop étroits. Les deux ponceaux carrés, dont la longueur a été réduite autant que possible, sont terminés par des murs d'aile en béton qui soutiennent le talus de l'autoroute. Chaque ponceau présente une longueur d'environ 14 m et un indice d'ouverture de 1,75 [(largeur × hauteur)/longueur]. Le coût total de construction de ce passage faunique inférieur s'élève à environ 1 million \$ CA.

Sentier faunique sous le pont de Lovering Creek

Le pont de Lovering Creek est une nouvelle structure construite au-dessus d'un profond ravin, au fond duquel coule un petit cours d'eau du nom de Lovering Creek. Puisque les parois du ravin sont rocheuses et abruptes, un passage en béton de 1,5 m de large a été construit le long de la paroi nord du ravin, sous le pont, afin de permettre un passage plus stable et sécuritaire pour la faune. Le pont de Lovering Creek représente l'extrémité sud de la clôture d'exclusion faunique installée le long du tronçon de 10 km de l'autoroute 69 à 4 voies. Étant donné que le but premier de la construction de ce pont était de permettre la circulation des véhicules sur l'autoroute, les coûts additionnels impliqués dans la construction du sentier faunique le long de la paroi nord, sous le pont, étaient négligeables.



Figure 3. Le passage faunique inférieur (écoduc) de Burwash comprend 2 ponceaux carrés identiques et une ouverture médiane clôturée.

Ponceaux à reptiles et à tortues

Immédiatement au nord de l'écoduc de Burwash, l'autoroute traverse un complexe de milieux humides qui représente un habitat de choix pour la tortue mouchetée, d'autres espèces de tortues et de reptiles. Au total, 3 passages relativement grands ont été construits et une clôture d'exclusion spécialement conçue pour les reptiles a été ajoutée au bas de celle à grande faune. La clôture d'exclusion pour les reptiles utilisée ici est un géotextile très résistant de 1 m de haut, attaché à la clôture à grande faune à l'aide de fixations en plastique. Environ 20 cm du géotextile ont été enterrés dans le sol, laissant une hauteur de clôture visible d'environ 80 cm. La clôture d'exclusion des reptiles s'étend sur plusieurs kilomètres vers le nord, à travers le complexe de milieux humides. Au sud des structures de passage pour les reptiles, cette clôture additionnelle s'étend sur environ 200 m et va rejoindre une section d'affleurement rocheux en bordure de l'autoroute.

D'une conception comparable à l'écoduc de Burwash, chacun de ces passages fauniques plus modestes est constitué de 2 ponceaux carrés disposés face à face et connectés par une partie médiane clôturée et à ciel ouvert. Afin de maintenir des conditions d'habitat propices aux espèces ciblées, les ponceaux ont été installés à une élévation qui leur permet de rester humides même en été et d'agir comme égalisateur de niveau d'eau entre les milieux humides situés à l'est et à l'ouest de l'autoroute. Chaque ponceau mesure 3,0 m de large par 2,4 m de haut et environ 28 m de long. L'indice d'ouverture de chaque ponceau est de 0,25. Les coûts de construction de chaque passage (constitué de 2 ponceaux) s'élèvent à environ 250 000 \$ CA.

Clôture d'exclusion à grande faune

Une clôture d'exclusion destinée à la grande faune a été installée le long des bordures ouest et est de l'autoroute, sur le tronçon de 10 km ciblé. Cette clôture en mailles d'acier de 2,4 m de haut présente une grandeur de mailles croissante de bas en haut et est attachée à des pieux de métal. Des portes d'évacuation à sens unique, s'ouvrant vers le milieu naturel et constituées de barres d'acier attachées sur des ressorts, ont été installées tous les 400 m environ.

Résultats du suivi des mesures d'atténuation

Le suivi de l'efficacité des mesures d'atténuation des impacts sur la faune a débuté en 2011, soit 1 an avant l'ouverture officielle de la nouvelle autoroute au trafic routier. Ce suivi comprend l'utilisation de passages fauniques, de portes d'évacuation et de clôtures d'exclusion faunique. Le programme de suivi a été conçu par Eco-Kare International, une firme de consultants en environnement spécialisés en écologie routière. Le suivi consistait à disposer des caméras à déclenchement automatique par le mouvement (de marque et modèle Reconyx HC 600) à des endroits soigneusement choisis afin de fournir une couverture appropriée, et à réaliser le pistage hivernal de traces et d'indices de présence animale dans toute l'aire d'étude (soit le tronçon de 10 km d'autoroute et son emprise). Les résultats obtenus lors du

suivi post-construction, de septembre 2012 à septembre 2017, sont résumés dans le tableau 1. Ce suivi se poursuivra en 2018 et en 2019.

Tableau 1. Résumé du nombre total de franchissements fauniques et du taux moyen de franchissement [total des franchissements/(total des franchissements + demi-tours)] par espèce, de septembre 2012 à septembre 2017 (Eco-Kare International, 2017).

Espèce	Écopont (passage faunique supérieur)		Écoduc (passage faunique inférieur)	
	Nombre total de franchissements	Taux de franchissement	Nombre total de franchissements	Taux de franchissement
Cerf de Virginie	1 100	96 %	39	53 %
Orignal	175	94 %	50	53 %
Ours noir	129	93 %	8	89 %
Loup/coyote	55		5	
Renard roux	84		12	
Total	1 543		114	

Utilisation de l'écopont de Burwash

L'écopont de Burwash a été utilisé plus de 1 500 fois lors des 5 premières années d'opération (tableau 1). Les données d'utilisation faunique ne sont pas représentatives du nombre d'individus qui utilisent l'écopont, mais plutôt du nombre de fois où ce dernier a été traversé par un individu d'une espèce en particulier. L'écopont a été principalement utilisé par le cerf de Virginie (1 100 franchissements recensés). L'orignal figurait au second rang des espèces de grande faune les plus fréquemment observées (environ 175 franchissements), suivi par l'ours noir (159 franchissements) et le renard roux (*Vulpes vulpes*, 84 franchissements). Le loup gris et le coyote ont été analysés ensemble et ont réalisé 55 franchissements. Le lynx roux (*Lynx rufus*) et le lynx du Canada (*Lynx canadensis*) ont également été détectés sur l'écopont, mais en beaucoup plus petit nombre.

Une analyse de l'utilisation de l'écopont selon le sexe des principales espèces fauniques a révélé que les mâles du cerf de Virginie ont utilisé cette structure davantage que les femelles. Cette plus grande activité était associée à un pic d'utilisation par le cerf à l'automne, et découlait probablement des déplacements accrus lors de la période du rut. En revanche, les orignaux femelles ont traversé l'écopont plus fréquemment que les mâles. Le pic d'activité des orignaux a été observé au printemps et coïncide avec les déplacements saisonniers typiques, lorsque les individus recherchent des sels minéraux (sodium) et des végétaux riches en nutriments à la fin de l'hiver.

L'utilisation faunique globale, menée par une forte concentration d'activités du cerf de Virginie, a connu un pic lors de la première année de suivi post-construction, puis a décliné au cours de chacune des années suivantes. Ce déclin de l'utilisation faunique est probablement le résultat d'un

déclin global de la population de cerf de Virginie dans la région, tel que mesuré par les caméras « de contrôle » réparties dans l'aire d'étude. Celles-ci étaient placées le long de la ligne de clôture, principalement pour observer les interactions de la faune avec les portes d'évacuation à sens unique, mais servaient également d'indicateur de l'abondance de la faune dans l'aire d'étude de 10 km. Cependant, l'attraction du cerf vers l'écopont en année 1 pourrait également être attribuée à une croissance active des jeunes pousses de graminées lors de la première saison de développement des végétaux. Les années suivantes, les graminées plus matures auraient pu avoir un pouvoir d'attraction moindre pour le cerf de Virginie, ce qui expliquerait en partie le déclin des observations. La hauteur et la densité de végétation des années subséquentes pourraient aussi avoir rendu la détection des mouvements fauniques plus difficile, en encombrant le champ de détection des caméras à déclenchement automatique (Eco-Kare International, 2017). Finalement, il est à noter que la population de wapitis a été introduite dans un secteur beaucoup plus au nord de la zone d'étude, et qu'il n'est pas surprenant qu'aucun individu n'ait été détecté lors des activités de suivi sur ce tronçon de 10 km.

Utilisation du passage faunique inférieur de Burwash

En comparaison avec l'écopont, les animaux ont été nettement moins nombreux à utiliser le passage faunique inférieur (écoduc), et ce, pour l'ensemble des espèces de grands mammifères recensées (tableau 1). Une différence notable entre les 2 types de structures est que l'orignal a réalisé plus de franchissements dans le passage inférieur que le cerf de Virginie. La différence relative du taux de franchissement des 2 types de structure est également digne de mention. Le taux de franchissement est défini par le nombre total de franchissements fauniques divisé par la somme du nombre total de franchissements et du nombre de demi-tours (ou occurrences d'évitement des structures par la faune). Le tableau 1 présente les taux de franchissement respectifs sur l'écopont et dans l'écoduc pour les 3 principales espèces fauniques. Alors que le taux de franchissement sur l'écopont pour ces 3 espèces s'est maintenu au-dessus de 90 % au cours de la période de suivi, le taux de franchissement des ongulés dans l'écoduc n'a atteint que 53 % en moyenne. En gros, 1 orignal sur 2 a fait demi-tour devant le passage faunique inférieur. Cependant, le taux de franchissement de l'orignal a augmenté au cours de la période de suivi, pour atteindre 79 % lors de la 5e année de suivi. Cela semble suggérer que la faune locale s'habitue tranquillement à cette structure. Le taux de franchissement de l'écoduc par l'ours noir (89 %) était plus élevé que celui des ongulés mais, en considérant l'utilisation globale de chacune des structures par l'ours noir (tableau 1), il est évident que les ours préfèrent nettement traverser sur l'écopont (Eco-Kare International, 2017).

Utilisation du pont de Lovering Creek

Le suivi de l'utilisation faunique du pont de Lovering Creek a été difficile en raison de la taille de la structure et du caractère accidenté de la topographie sous cette structure. Ainsi,

les efforts de suivi par caméras à déclenchement automatique se sont concentrés sur les accès au sentier faunique construit sous le pont. Au total, 78 observations fauniques ont été réalisées pendant la période de suivi pour toutes les espèces de grande faune. L'ours noir, le coyote et le renard roux ont utilisé cette structure le plus souvent, probablement en raison de leur capacité à traverser facilement les pentes rocheuses. Le taux de franchissement global, toutes espèces confondues, atteignait environ 88 % sous le pont de Lovering Creek.

Utilisation des passages à reptiles et à tortues

Bien que ces structures aient été conçues spécialement pour le passage de la tortue mouchetée, le suivi de l'utilisation par la grande faune et les mammifères de taille moyenne a néanmoins été réalisé avec des caméras à déclenchement automatique par le mouvement installées pendant toute la période d'étude (5 ans), ainsi que du pistage de traces et d'indices de présence animale à des périodes précises durant l'hiver. Les espèces de grands mammifères recensées dans ces plus petites structures comprenaient l'orignal (3 observations), le cerf de Virginie (3 observations), l'ours noir (5 observations) et le coyote (20 observations). L'utilisation de ces passages par l'orignal et le cerf était nettement plus faible que celle des plus grandes structures à proximité, probablement en raison du plus petit indice d'ouverture et du fait que ces passages de taille modeste sont adjacents à des milieux humides, et qu'ils sont traversés par des cours d'eau pendant la majorité de la saison estivale. En hiver, l'eau gèle, réduisant ainsi l'ouverture disponible des structures et créant une surface glissante peu propice au déplacement des ongulés (Eco-Kare International, 2017). Les résultats d'utilisation de ces structures par les tortues et autres reptiles sont résumés dans l'article de Gunson (2018) plus loin dans ce numéro.

Clôture d'exclusion faunique

Les travaux de suivi ont permis de documenter certains enjeux concernant la conception et l'installation des clôtures d'exclusion faunique pendant la période d'étude (5 ans). Cette clôture ne comportait pas de partie enterrée et des animaux sont parvenus à creuser ou à se glisser sous la clôture. Des animaux ont également réussi à escalader une paroi rocheuse abrupte qui, au moment de la conception des mesures d'atténuation, avait été jugée impossible à traverser et sur laquelle aucune clôture d'exclusion n'avait été installée. Par ailleurs, plusieurs espèces fauniques ont été observées réussissant à grimper sur le talus et à traverser l'autoroute au-delà de l'extrémité nord de la clôture, et des collisions véhicules-faune ont été recensées immédiatement au nord de la section clôturée (Eco-Kare International, 2017).

Le succès des portes d'évacuation à sens unique a été mitigé, car les cerfs de Virginie et les orignaux semblent avoir de la difficulté à les détecter, alors que les ours noirs sont capables de les utiliser dans les deux sens. À la suite de ces observations, des travaux de réfection ont été entrepris afin de remplacer les portes par des rampes d'évacuation à sens

unique, permettant ainsi à la grande faune qui se trouverait sur les voies de circulation de s'en échapper en bondissant vers le milieu naturel (Eco-Kare International, 2017).

Discussion sur l'efficacité des mesures d'atténuation

De façon générale, les mesures d'atténuation d'impacts sur la faune mises en place lors des travaux de construction de l'autoroute 69 élargie à 4 voies se sont avérées efficaces. Elles ont permis de maintenir la connectivité des habitats naturels de part et d'autre de la nouvelle autoroute, et cette dernière n'a donc pas représenté un obstacle aux déplacements de la faune. Les résultats des 5 premières années de suivi post-construction ont clairement montré que toutes les espèces de grande faune préfèrent utiliser l'écopont plutôt que l'écoduc ou les autres structures environnantes. Bien que les ongulés semblent moins attirés par le passage inférieur, cette structure a néanmoins été utilisée par l'ensemble des espèces, et le taux de franchissement croissant semble indiquer que son utilisation nécessite un certain apprentissage ou des comportements adaptatifs. L'utilisation par la faune et les taux de franchissement sous le pont de Lovering Creek sont encourageants; les ponts qui enjambent des cours d'eau naturels sont une façon économique de fournir des passages fauniques sécuritaires. De telles structures sont nécessaires au passage des véhicules au-dessus des cours d'eau et des vallées, et les travaux supplémentaires de nivellement des accotements pour la création de sentiers ou de passages fauniques sous le tablier du pont sont relativement peu coûteux. Le pont enjambant la rivière Murdoch, construit récemment au sud de la zone d'étude, est déjà équipé d'un sentier nivelé beaucoup plus large et plat; les premières années de suivi de cette mesure d'atténuation indiquent que ce sentier nivelé permet déjà plus de passages fauniques que le pont de Lovering Creek.

L'utilisation par la grande faune des plus petits passages destinés aux tortues et autres reptiles suggère que ces structures contribuent à la perméabilité globale de l'autoroute 69. Par conséquent, la construction de passages fauniques additionnels devrait être considérée dès que possible, à l'étape de conception de nouveaux projets autoroutiers, afin de permettre l'ajout de traversées supplémentaires lorsque cela est possible, et ce, même si ces structures ne semblent pas répondre à la taille minimale requise pour le passage de la grande faune.

Le véritable test d'efficacité des mesures d'atténuation d'impacts sur la faune, dans une perspective de sécurité des usagers de la route et des animaux sauvages, peut se résumer à leur capacité à réduire les collisions véhicules-faune. Une revue de littérature a montré que, dans la plupart des cas, la réduction de la mortalité de la grande faune à la suite des collisions avec les véhicules dépasse les 80 %, lorsque plus de 5 km de clôtures d'exclusion de la grande faune sont installées de part et d'autre des structures destinées aux passages fauniques (Huijser et collab., 2016). De plus, une autre revue de littérature par Rytwinski et collab. (2016) a mis en évidence le fait qu'une combinaison de clôtures et de structures destinées à la faune entraînent une réduction de mortalité des grands mammifères de 83 %, et que de

telles mesures d'atténuation, bien que plus coûteuses, sont nettement plus efficaces que des systèmes de détection de la présence d'animaux sauvages en bordure des routes.

Le suivi des mesures d'atténuation mises en place dans le cadre du projet d'élargissement de l'autoroute 69 corrobore ces conclusions. Pendant les 10 ans précédant la construction, une moyenne de 9,2 collisions véhicules-faune était rapportée le long des 10 km de l'ancienne autoroute 69 à 2 voies. Les 4 premières années de suivi post-construction sur les 10 km de la nouvelle autoroute à 4 voies ont révélé que le nombre moyen de collisions véhicules-faune a chuté de 73 % pour atteindre 2,5. Quant à elles, les collisions avec les orignaux, qui sont souvent les plus graves pour les usagers de la route, ont diminué de 85 %. Le suivi des mesures d'atténuation a permis de repérer les endroits où la faune parvenait à passer sous la clôture ou à la contourner pour avoir accès à l'autoroute (près des extrémités de clôtures). Des améliorations apportées aux clôtures d'exclusion, comme le remplacement des portes d'évacuation et le prolongement des clôtures au nord et au sud de leurs limites actuelles, pourraient contribuer à réduire les collisions véhicules-faune encore davantage.

Remerciements

L'auteur remercie les gestionnaires de la région du Nord-Est du ministère des Transports de l'Ontario pour leur soutien continu, pour le financement des travaux de recherche et de suivi, de même que pour le partage des résultats grâce au temps d'employé libéré aux fins de la préparation de publications et de conférences. Il tient aussi à exprimer sa gratitude et sa reconnaissance à Mme Kari Gunson, de l'organisme Eco-Kare International, pour ses nombreuses années de travail et sa contribution inestimable à l'avancement et à l'amélioration des projets de mesures d'atténuation en écologie routière. Il remercie aussi ceux et celles qui ont contribué aux travaux de terrain au fil des ans : William Carrigan, Kari Gunson, Wes Kowbasniuk, Sean Boyle, Kaitlyn Reed, David McGeachy. Merci aux réviseurs anonymes, à Caroline Daguet pour la traduction du texte vers le français et à l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leur contribution à améliorer ce manuscrit. ◀

Références

- CLEVENGER, A.P., A.T. FORD et M.A. SAWAYA, 2009. Banff wildlife crossings project: Integrating science and education in restoring population connectivity across transportation corridors. Rapport final à Parcs Canada, Radium Hot Springs, 165 p. Disponible en ligne à : <https://arc-solutions.org/wp-content/uploads/2012/03/Clevenger-et-al-2009-Banff-wildlife-crossings-project.pdf>. [Visité le 2018-08-20].
- ECO-KARE INTERNATIONAL, 2017. Effectiveness of wildlife mitigation measures for large- to mid-sized animals on Highway 69 in Northeastern Ontario: September 2011 to September 2016. Rapport sommaire présenté au ministère des Transports de l'Ontario, région du Nord-Est, North Bay, 58 p. Disponible en ligne à : https://eco-kare.com/wp-content/uploads/2017/04/EcoKare-Assign-Retainer-5013-E-0028_Hwy-69_public-report_11-apr-17-final.pdf. [Visité le 2018-08-20].
- GUNSON, K., 2018. A comparison of turtle and snake passage at drainage culverts along under two major highways in North America. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1): 81-84.
- HUIJSER, M.P., E.R. FAIRBANK, W. CAMEL-MEANS, J. GRAHAM, V. WATSON, P. BASTING et D. BECKER, 2016. Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife-vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. *Biological Conservation*, 197: 61-68.
- [MTO] MINISTÈRE DES TRANSPORTS DE L'ONTARIO, 2004. Highway 69 four-laning from Highway 64 to Estaire. GWP 5379-02-00. Ministère des Transports de l'Ontario, région du Nord-Est, North Bay, 158 p. + annexes.
- [MTO] MINISTÈRE DES TRANSPORTS DE L'ONTARIO, 2007. Highway 69 wildlife crossing planning and preliminary design study. From 1.0 km north of the future interchange at Highway 637, northerly 1.8 km Township of Servos. Ministère des Transports de l'Ontario, région du Nord-Est, North Bay, 110 p. + annexes.
- RYTWINSKI, T., K. SOANES, J.A.G. JAEGER, L. FAHRIG, C.S. FINDLAY, J. HOULAHAN, R. VAN DER REE et E.A. VAN DER GRIFT, 2016. How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. *PLoS ONE*, 11 (11): e0166941. doi: 10.1371/journal.pone.0166941.
- [UNESCO] UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, 2018. Ecological sciences for sustainable development: Georgian Bay. Disponible en ligne à : <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/europe-north-america/canada/georgian-bay/>. [Visité le 2018-02-23].

Clôtures et passages fauniques pour les petits et moyens mammifères le long de la route 175 au Québec: quelle est leur efficacité ?

Jochen A.G. Jaeger, Ariel G. Spanowicz, Jeff Bowman et Anthony P. Clevenger

Résumé

Au Québec, certains des premiers passages fauniques pour les petits et moyens mammifères ont été installés lors de l'élargissement de la route 175. L'efficacité de 18 structures et des clôtures près de leur entrée a été évaluée grâce à un suivi continu par des caméras de surveillance et des enquêtes sur les animaux frappés par les véhicules au cours des étés de 2012 à 2015. La plupart des espèces ont utilisé plus souvent les ponceaux secs en béton et ceux avec pied sec de type tablette de bois installée en porte-à-faux que les ponceaux avec pied sec de type tablette de béton. Il y a eu significativement plus de mortalité routière animale aux extrémités des clôtures que dans les tronçons de route clôturés et ceux non clôturés. La mortalité routière animale était moindre dans les tronçons de route clôturés (et aux extrémités de clôtures correspondantes) où la faune utilisait plus souvent les structures. Bien qu'en général, les passages installés aient été couronnés de succès, plusieurs espèces utilisent peu ou pas ces structures, et des améliorations sont nécessaires. Nous présentons plusieurs recommandations visant à améliorer l'atténuation de l'impact des routes sur la faune, ainsi que de futurs programmes de suivi et de recherche.

MOTS CLÉS : collisions véhicules-faune, écologie routière, efficacité des mesures d'atténuation, mesures d'atténuation le long des routes, mortalité routière

Abstract

Some of the first designated wildlife passages for small and medium-sized mammals in the province of Québec (Canada) were installed during the widening of the highway Route 175. The effectiveness of 18 passages and short fences on either side of the entrances was evaluated through continuous camera monitoring and roadkill surveys conducted over 4 summers (2012-2015). Most mammal species used concrete pipe culverts and wooden ledge culverts more often than concrete ledge culverts. Roadkill was significantly greater at fence ends than within fenced and unfenced sections, and was less in those fenced road sections (and around the associated fence ends) where wildlife passages were more frequently used. While the passages were successful in general, several species only used the passages infrequently or not at all, and further improvements are needed. Several recommendations are made concerning ways to improve the mitigation of the impact of roads on wildlife, and future monitoring and research.

KEYWORDS: mitigation effectiveness, road ecology, road mitigation, traffic mortality, wildlife-vehicle collisions

Mise en contexte et objectifs

À mesure que la biodiversité diminue à l'échelle mondiale (Tittensor et collab., 2014), le développement des routes se poursuit à travers le monde, ce que Laurance et collab. (2017) appellent un « tsunami d'infrastructures ». Par conséquent, les biologistes de la faune, les ingénieurs en génie civil, le grand public, les planificateurs et les décideurs sont de plus en plus préoccupés par les effets néfastes des routes et de la circulation routière sur les populations fauniques. Des mesures d'atténuation efficaces de l'impact des routes sur la faune sont indispensables, tant pour enrayer le déclin de la biodiversité, qui fait partie des objectifs de biodiversité internationaux d'Aichi établis par la Convention sur la diversité biologique (Tittensor et collab., 2014) que pour assurer le maintien à long terme des services écosystémiques essentiels. Les routes et le trafic routier ont de graves effets (dont la mortalité routière animale) sur de nombreuses populations fauniques; ils constituent des obstacles au déplacement des animaux et réduisent la quantité et la qualité d'habitats disponibles (Jaeger et collab., 2005).

Ces effets peuvent avoir de graves conséquences sur les processus écologiques et les populations fauniques :

Jochen Jaeger est professeur agrégé au Département de géographie, urbanisme et environnement de l'Université Concordia. Ses travaux portent sur la fragmentation du paysage, l'écologie routière et l'étalement urbain.

jochen.jaeger@concordia.ca

Ariel Spanowicz est assistante de recherche dans le laboratoire du Dr Jaeger au Département de géographie, urbanisme et environnement de l'Université Concordia. Elle a complété son baccalauréat en géographie environnementale avec mention en 2016 et a commencé ses études de maîtrise à l'École polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) à l'automne 2018.

ariel.spanowicz@gmail.com

Jeff Bowman est chercheur au ministère des Ressources naturelles et des Forêts de l'Ontario et professeur adjoint à l'Université Trent, à Peterborough. Ses recherches portent sur l'écologie des populations fauniques et l'écologie à l'échelle du paysage.

Jeff.Bowman@ontario.ca

Anthony P. Clevenger est chercheur au Western Transportation Institute du Montana State University (Bozeman, Montana). Il a été responsable des études à long terme évaluant l'impact des routes sur la faune terrestre et l'efficacité des mesures d'atténuation conçues afin de réduire la fragmentation des habitats fauniques.

apclevenger@gmail.com

vulnérabilité accrue des populations, déséquilibres entre les sexes, taux de reproduction plus faibles, flux génétiques réduits, changements dans la composition des communautés animales et perte de biodiversité (van der Ree et collab., 2015). Plusieurs de ces conséquences présentent un délai de réponse, c'est-à-dire un décalage dans l'effet observable, qui peut prendre plusieurs années ou plusieurs décennies (Findlay et Bourdages, 2000). Par conséquent, leur importance est souvent sous-estimée dans le processus décisionnel en amont de la construction des routes. Cependant, des mesures d'atténuation de ces impacts sont plus souvent mises en place ces dernières années, du moins dans une certaine mesure (Rytwinski et collab., 2016).

La route 175 relie les villes de Québec et de Saguenay, dans la province de Québec, au Canada. Environ deux tiers de la longueur totale de la route (soit 133 km sur 210 km) traversent la réserve faunique des Laurentides (RFL), et une grande partie de son tracé longe le parc national de la Jacques-Cartier (PNJC) (figure 1). Cette route a été élargie de 2 à 4 voies entre 2006 et 2011. La construction comprenait 33 passages fauniques inférieurs pour les mammifères de petite et de moyenne taille, installés sous la route 175, entre les kilomètres 60 et 144. Des clôtures pour les mammifères de taille moyenne ont été installées de part et d'autre de chaque entrée de ponceau pour guider les animaux qui s'approchaient de la route vers ces structures de passage et les empêcher de traverser les voies de circulation. Ces clôtures s'étendent sur environ 100 m de part et d'autre de chaque ponceau, mesurent 90 cm de haut, présentent des mailles en acier de 6 cm × 6 cm et sont enterrées dans le sol. Ces structures figurent parmi les premiers passages fauniques conçus pour les mammifères de petite et de moyenne taille au Québec.

La martre d'Amérique (*Martes americana*) présente un intérêt particulier, car elle a une valeur économique considérable pour les trappeurs dans la RFL, en plus d'être une espèce attrayante et charismatique aux yeux du public. C'est un carnivore très territorial qui évite les milieux ouverts. L'espèce sert aussi d'indicateur de l'état de la forêt boréale.

Le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec (MTMDET) a réuni une équipe de chercheurs afin d'évaluer l'efficacité des clôtures et des structures de passage faunique. Le projet de recherche, lancé en 2012 et achevé en 2017, avait trois objectifs principaux :

1. caractériser les sites et les taux de collision entre les véhicules et les mammifères de petite et de moyenne taille et comparer les taux de mortalité routière animale entre les tronçons de route avec et sans mesures d'atténuation d'impacts sur la faune;
2. mesurer l'efficacité des quatre types de structures de passage faunique conçues pour les mammifères de petite et de moyenne taille et réparties entre les kilomètres 60 et 144 de la route;
3. évaluer si les mesures d'atténuation assurent une perméabilité adéquate de la route pour la martre d'Amérique, tant pour les individus que le flux génétique.

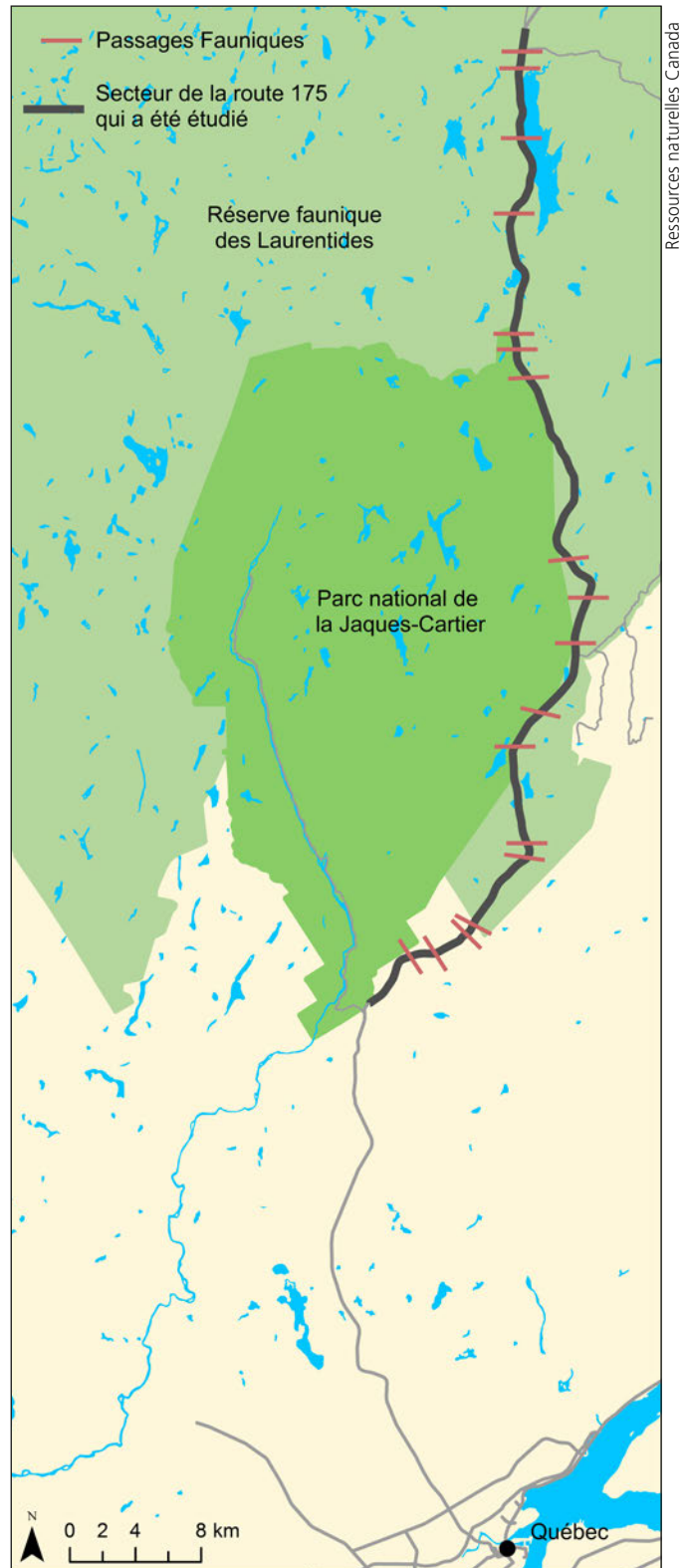


Figure 1. Emplacement des 18 structures de passage faunique suivies par le projet de recherche le long de la route 175 entre 2012 et 2015.

Quatre types de structures de passage faunique conçues pour les mammifères de petite et de moyenne taille le long de la route 175 ont été installés (figure 2) :

- Ponceau sec (PS), ou tuyau circulaire : tuyau de béton armé (TBA) ou en polyéthylène de haute densité (PEHD), généralement d'un diamètre de 600 ou 900 mm (figure 2a).
- Ponceau avec tablette de bois installée en porte-à-faux (PTBois) : le ponceau présente sur un côté une tablette de bois soutenue par des supports métalliques vissés dans la paroi du ponceau après sa construction (figure 2b).
- Ponceau avec pied sec de type tablette de béton (PTBét) : le ponceau présente sur un côté une tablette de béton, intégrée dès l'étape de conception et située plus haut au-dessus de l'eau que le trottoir de béton du PBBét (figure 2c).

- Ponceau avec banquette de béton (PBBét) : le ponceau présente sur un côté une banquette de béton, intégrée dès l'étape de conception d'origine, et située plus bas que la tablette de béton du PTBét (figure 2d).

Le présent article est un résumé du rapport final d'un projet de recherche de 4 ans (Jaeger et collab., 2017). Cette synthèse se concentre sur les aspects appliqués de la recherche et sur les recommandations les plus pertinentes pour la planification des routes, la conservation des milieux naturels, l'évaluation des impacts environnementaux et le processus décisionnel. Elle comporte donc moins de détails méthodologiques et exclut aussi les tableaux de résultats statistiques. Ainsi, pour certains types de détails et de résultats moins élaborés ici, les lecteurs sont encouragés à se référer au rapport complet (Jaeger et collab., 2017) et aux articles connexes évalués par des pairs (p. ex. Martinig et Bélanger-Smith, 2016; Plante et collab., sous presse; et Spanowicz et collab., en préparation).



Figure 2. Quatre types de passages fauniques conçus pour les mammifères de petite et de moyenne taille le long de la route 175 : (a) ponceau sec (PS) ou tuyau circulaire ($n = 6$); (b) ponceau avec tablette de bois installée en porte-à-faux (PTBois) ($n = 4$); (c) ponceau avec pied sec de type tablette de béton (PTBét) ($n = 7$); (d) ponceau avec banquette de béton (PBBét) ($n = 1$).

Méthodologie

Mortalité routière animale

Des tronçons de route avec et sans mesures d'atténuation d'impacts sur la faune (c.-à-d. pourvus ou non de structures de passage faunique associées à des clôtures) ont été étudiés afin de quantifier la mortalité routière des mammifères de petite et de moyenne taille (Bélanger-Smith, 2015; Plante, 2016). Les relevés ont été réalisés pendant 4 étés de 2012 à 2015 (juin à septembre) et groupés en séances de 2 semaines (10 séances en 2012, 9 en 2013, 8 en 2014 et 7 en 2015).

Au cours de chaque séance de 2 semaines, les chercheurs ont parcouru des tronçons de route pendant 3 soirs consécutifs (juste avant le coucher du soleil); après une interruption d'un jour, les relevés ont repris pendant 6 matins consécutifs (juste après le lever du soleil). Au total, 306 relevés sur la mortalité routière ont été réalisés. Afin d'évaluer la probabilité de détection de la mortalité routière animale, 45 relevés (28 en 2014 et 17 en 2015) ont été effectués avec 2 véhicules indépendants au lieu d'un seul, et ce, à 20 minutes d'intervalle (voir Jaeger et collab. 2017, p. 58-61 ou Plante et collab. [sous presse] pour plus de détails à propos des calculs concernant la probabilité de détection).

Efficacité des structures de passage faunique

En 2012, au début de l'étude, la construction de 18 structures de passage faunique conçues pour les mammifères de petite et de moyenne taille (et associées à des clôtures directionnelles) était complétée, tandis que 15 autres étaient encore en construction. L'étude s'est penchée sur le tronçon routier comprenant les 18 premières structures de passage faunique (figure 1).

Des caméras Reconyx HC 600 à déclenchement automatique par le mouvement ont été installées à l'entrée de chaque ponceau et orientées vers l'intérieur de ceux-ci, afin de documenter l'utilisation de ces structures par la faune en continu (24 h par jour, toute l'année) de la fin mai 2012 à la fin août 2015 (figure 3). Elles étaient paramétrées pour prendre une série de 5 photos à chaque déclenchement. L'utilisation de chaque structure par la faune a été quantifiée et analysée statistiquement afin de comparer les différents types de structures entre elles et de déterminer leur efficacité (voir Jaeger et collab., 2017 et Martinig et Bélanger-Smith, 2016 pour plus de détails).

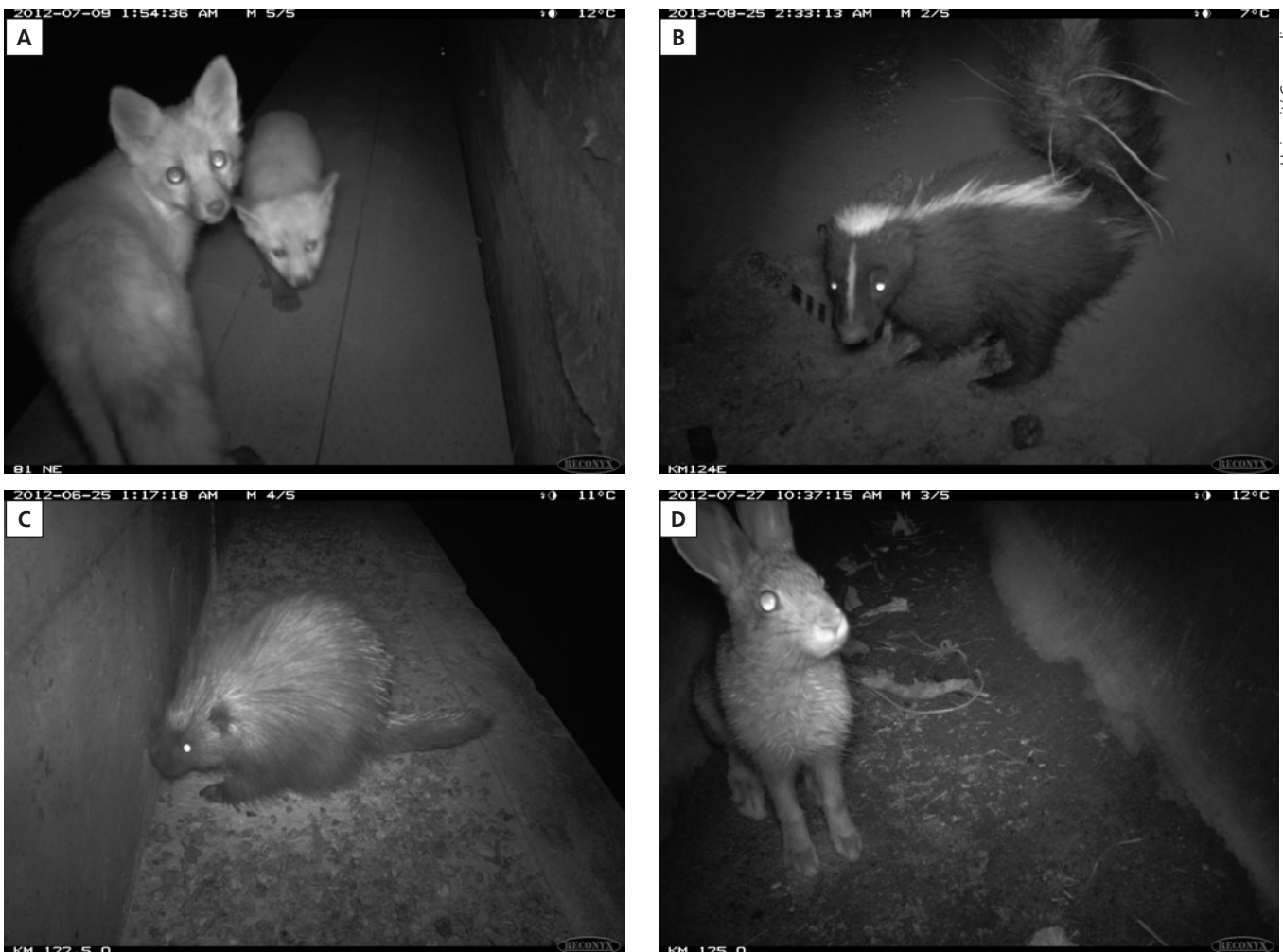


Figure 3. Photos prises à l'intérieur des structures de passage faunique le long de la route 175: a) renard roux avec renardeau; b) moufette rayée; c) porc-épic d'Amérique; d) lièvre d'Amérique.

Perméabilité de la route à la martre d'Amérique

Pour évaluer la perméabilité de la route 175 pour la martre d'Amérique, la radio télémétrie VHF, la capture-marquage-recapture, les photographies prises avec caméras numériques dans les structures de passage faunique et une analyse génétique ont été combinées (voir Jaeger et collab., 2017, p. 73-83 pour plus de détails). Une route à 2 voies a été choisie comme site de contrôle (route 381, Charlevoix). Nous avons comparé la parenté génétique des martres capturées d'un côté de la route avec celles capturées de l'autre côté, et avons comparé les résultats pour la route à 4 voies (route 175) et celle à 2 voies (route 381). Si la route 175 n'a aucun effet sur la dispersion et le flux génétique de la martre d'Amérique, on pourrait s'attendre à : a) une panmixie, où il n'existe pas de patron génétique, ou b) un isolement par distance seulement, où la différence génétique s'accroît avec la distance

géographique parce que les individus se reproduisent avec leurs voisins. Cependant, si la route influence la dispersion de la martre, on peut s'attendre à un isolement par résistance, c'est-à-dire une relation entre la présence de la route, la distance euclidienne et le flux génétique, où les zones hautement résistantes au déplacement entravent le flux génétique.

Par ailleurs, afin d'évaluer l'utilisation des ponceaux de drainage ordinaires par la martre d'Amérique, des caméras ont été installées dans 9 ponceaux de drainage le long de la route 381 pendant 72 jours et dans 11 ponceaux de drainage le long de la route 175 pendant 260 jours.

Résultats

Mortalité routière animale

Un total de 893 carcasses de mammifères de petite et de moyenne taille ont été détectées, appartenant à 13 espèces ou groupes taxonomiques distincts. Aucune de ces espèces n'était en

Tableau 1. Nombre total d'animaux morts détectés sur la route 175 pendant les mois d'été de 2012 à 2015, par espèce et par année – suivi de la mortalité routière animale par Bélanger-Smith (2015) et Plante (2016).

	2012	2013	2014	2015	Total
Nombre de relevés	90	81	72	63	306
Espèce :					
Porc-épic d'Amérique (<i>Erethizon dorsatum</i>)	94	112	81	87	374
Petit mammifère non identifié	40	15	27	20	102
Mammifère non identifié	18	23	16	10	67
Renard roux (<i>Vulpes vulpes</i>)	19	15	12	6	52
Marmotte commune (<i>Marmota monax</i>)	8	9	19	11	47
Souris (espèce indéterminée)	40	3	2	1	46
Moufette rayée (<i>Mephitis mephitis</i>)	14	18	4	6	42
Lièvre d'Amérique (<i>Lepus americanus</i>)	16	10	9	6	41
Campagnols et campagnols-lemmings (<i>Arvicolinae</i>)	27	1	2	3	33
Musaraigne (<i>Sorex</i> sp.)	19	3	6	3	31
Écureuil roux d'Amérique (<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>)	9	3	2	5	19
Raton laveur (<i>Procyon lotor</i>)	9	1	2	0	12
Souris sauteuse (<i>Zapus hudsonius</i> / <i>Napaeozapus insignis</i>)	5	2	0	2	9
Castor du Canada (<i>Castor canadensis</i>)	1	5	0	2	8
Belette ou hermine (<i>Mustela</i> sp.)	1	2	0	0	3
Lynx du Canada (<i>Lynx canadensis</i>)	0	0	1	1	2
Grand polatouche (<i>Glaucomys sabrinus</i>)	2	0	0	0	2
Martre d'Amérique (<i>Martes americana</i>)	0	0	0	1	1
Vison d'Amérique (<i>Neovison vison</i>)	1	0	0	0	1
Condylure étoilé (<i>Condylura cristata</i>)	0	0	0	1	1
Loup gris (<i>Canis lupus</i>)	0	0	0	0	0
Loutre de rivière (<i>Lontra canadensis</i>)	0	0	0	0	0
Pékan (<i>Martes pennanti</i>)	0	0	0	0	0
Rat musqué commun (<i>Ondatra zibethicus</i>)	0	0	0	0	0
Total	323	222	183	165	893

situation précaire au Québec. Le porc-épic d'Amérique (*Erethizon dorsatum*) était l'espèce la plus souvent observée. Il était suivi du renard roux (*Vulpes vulpes*), de la marmotte commune (*Marmota monax*), de la moufette rayée (*Mephitis mephitis*) et du lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*) (tableau 1).

Le nombre réel d'animaux tués sur la route est beaucoup plus élevé que le nombre de carcasses détectées, car :

- la probabilité de détection de la mortalité routière animale est inférieure à 100 % : la probabilité globale de détection de la mortalité routière pour toutes les espèces était de 72 %, allant de 17 % pour les petits mammifères (< 1 kg) à 82 % pour les mammifères de taille moyenne (> 1 kg) (Plante et collab., sous presse);
- certains animaux blessés sortent des voies de circulation et meurent à proximité de la route, mais ne sont pas détectés lors des relevés;
- certaines carcasses sont emportées par des charognards ou sont complètement détruites par les véhicules avant de pouvoir être détectées;
- les relevés de mortalité routière animale n'ont été réalisés que pendant 4 mois de chaque année d'étude.

Le nombre de carcasses de mammifères de taille moyenne (> 1 kg) était plus grand en présence de végétation arbustive dans la bande médiane de la route (terre-plein central) ou de végétation arborescente à proximité de la route (Jaeger et collab., 2017, Plante et collab., sous presse). La clôture semble avoir réduit la mortalité routière animale dans les tronçons de route clôturés, mais la taille de l'échantillon était trop petite pour affirmer que la corrélation est significative d'un point de vue statistique. Toutefois, le taux de mortalité

routière animale était statistiquement plus élevé aux extrémités des clôtures que dans les tronçons de route clôturés et dans les tronçons non clôturés. Cette observation a été appelée « effet de bout de clôture » (Clevenger et collab., 2001; McCollister et van Manen, 2010) : on observe un déplacement des occurrences de mortalité routière animale vers les extrémités des clôtures au lieu d'une baisse du taux de mortalité (Cserkés et collab., 2013, Huijser et collab., 2015). Par conséquent, la combinaison du tronçon de route clôturé et de la mortalité plus forte aux extrémités des clôtures n'a pas entraîné de réduction globale de la mortalité routière animale par rapport aux tronçons non clôturés (figure 4) (voir tableau 5.4 dans Jaeger et collab. 2017 pour plus de détails). Nous en concluons que les clôtures n'étaient pas assez longues pour réduire la mortalité routière animale. Des clôtures plus longues seraient probablement plus efficaces pour réduire à la fois la mortalité routière animale et l'effet de bout de clôture, puisqu'une longueur accrue réduit la probabilité qu'un animal se rende jusqu'à l'extrémité de la clôture et donc, sur la route (Huijser et collab., 2015; Huijser et collab., 2016). Il n'a pas été possible d'étudier l'efficacité de différentes longueurs de clôture dans notre étude, car toutes les clôtures avaient la même longueur.

Les occurrences de mortalité routière des petits et moyens mammifères ont été cartographiées pour 3 tronçons de la route 175 (figure 4). Sur le tronçon de route de 5 km entre les kilomètres 95 et 100 (figure 4c), 52 carcasses ont été détectées sur les voies en direction sud, les plus proches du PNJC, ce qui est plus que les 36 carcasses détectées sur les voies en direction nord qui sont plus loin du parc. La concentration des occurrences de mortalité à proximité des extrémités de clôtures est visible sur les figures 5a à 5c.

Effacité des structures de passage faunique

Le franchissement complet d'au moins une espèce de mammifère de taille moyenne et d'au moins une espèce de petit mammifère a été documenté dans toutes les 18 structures de passage faunique suivies. Le nombre total de photos enregistrées était de 227 720, ce qui a permis de documenter 14 344 visites de mammifères dans les structures de passage faunique (Martinig et Bélanger-Smith, 2016). De ce nombre, 1 851 étaient des franchissements complets (13 % des visites) (figure 6), alors que 28 % étaient des explorations (puisque l'entrée et la sortie de l'animal étaient détectées par la même caméra) et que 59 % étaient des visites indéterminées, c'est-à-dire qu'il n'était pas possible de déterminer à partir des photos si l'animal franchissait la structure au complet ou s'il revenait sur ses pas. Le nombre réel de visites et de franchissements complets est probablement beaucoup plus élevé que celui observé, car les caméras ont un taux de détection inférieur à 100 % (soit d'environ 83 % pour les mammifères de taille moyenne et d'environ 56 % pour les petits mammifères selon Jumeau et collab., 2017).

Ces résultats démontrent que les nouvelles structures de passage faunique sont déjà utilisées par plusieurs petits et moyens mammifères, seulement 4 à 6 ans après leur

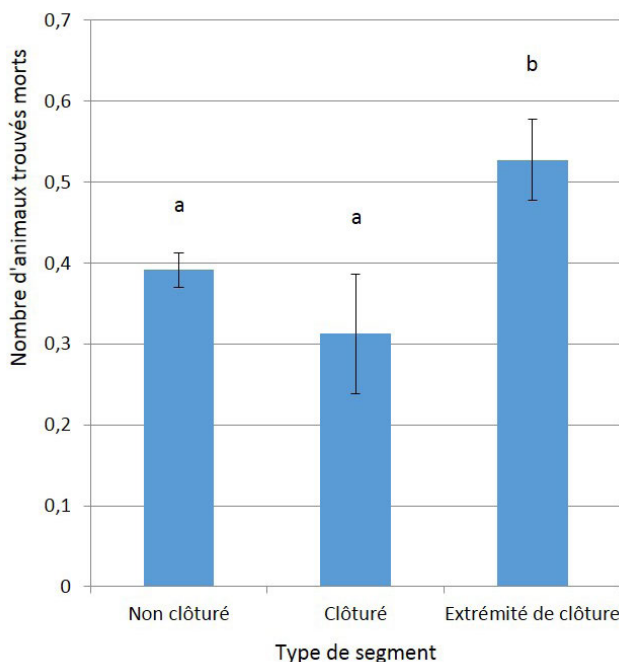


Figure 4. Nombre moyen d'animaux morts (> 1 kg) détectés par type de tronçon de 100 m de la route 175 (Plante, 2016).

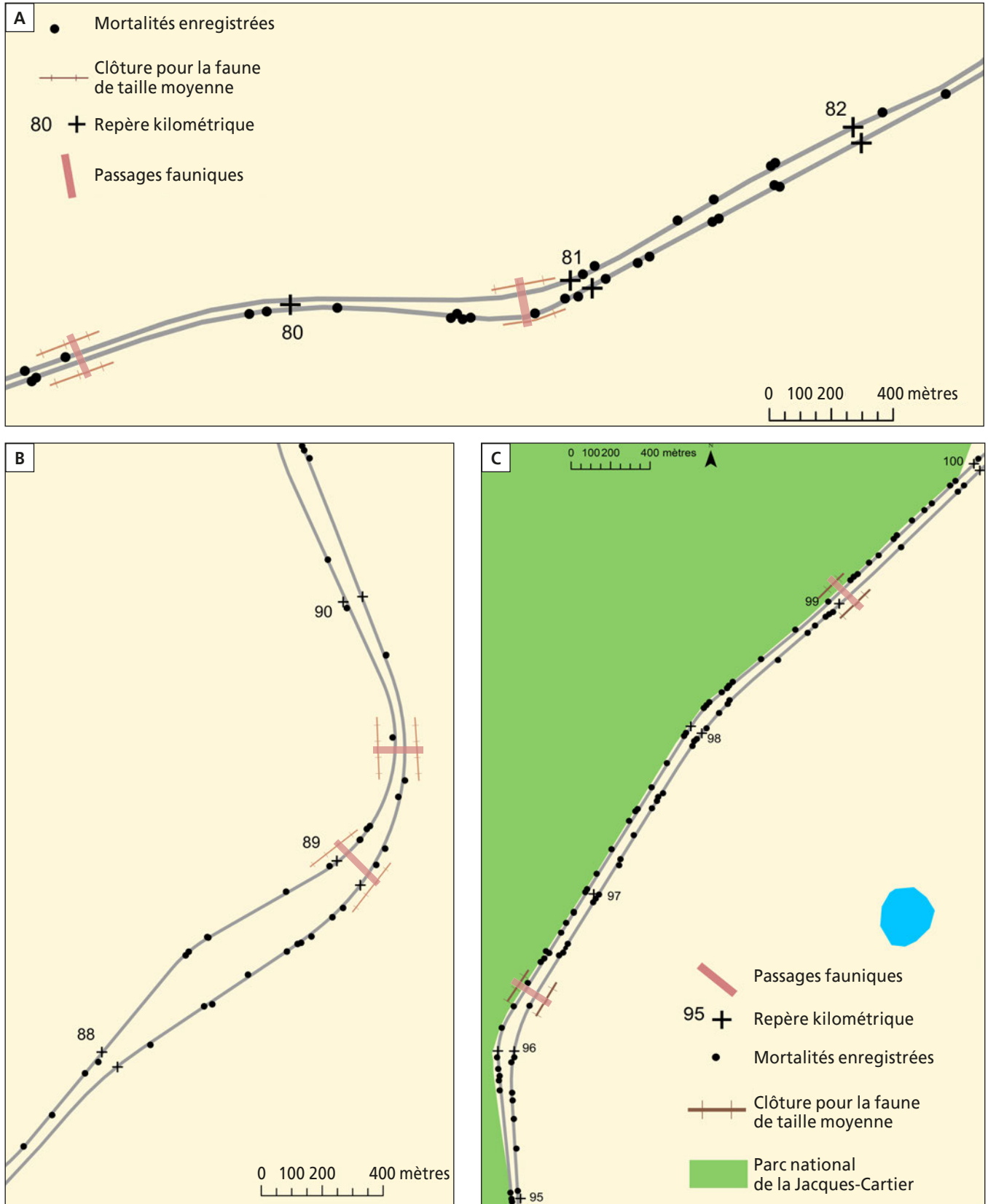


Figure 5. Emplacement des mammifères de petite et de moyenne taille trouvés morts sur la route 175 (points noirs) : a) entre les kilomètres 80 et 82; b) entre les kilomètres 88 et 90; c) entre les kilomètres 95 et 100. Les petites lignes en brun localisent les clôtures à moyenne faune le long de la route; les lignes rouges en travers de la route indiquent l'emplacement des structures de passage faunique.

construction. Cependant, aucun franchissement complet n'a été documenté au cours de l'étude pour la martre d'Amérique, le pékan (*Martes pennanti*), le lynx du Canada (*Lynx canadensis*) ni le grand polatouche (*Glaucomys sabrinus*). Par ailleurs, certaines espèces ont été très rarement observées : 1 seul franchissement complet a été recensé pour la loutre de rivière (*Lontra canadensis*), 6 pour le renard roux, et 10 pour le porc-épic d'Amérique et le raton laveur (*Procyon lotor*) (figure 6).

Les ponceaux secs (PS) et les ponceaux avec tablette de bois (PTBois) ont été plus efficaces que les ponceaux avec tablette de béton (PTBét) (tableau 2). Le nombre moyen de franchissements complets par structure était de 183 individus pour les structures de type PS, de 140 individus pour les PTBois, et de 28 individus pour les PTBét. Nos résultats indiquent également que des structures dont la conception comprend une ouverture médiane équipée d'une clôture d'exclusion faunique au niveau du terre-plein central ont été moins efficaces que les structures sans ouverture médiane, même si une telle conception laisse entrer plus de lumière (Martinig et Bélanger-Smith, 2016; Jaeger et collab., 2017).

Lorsque nous avons combiné les résultats concernant les objectifs 1 et 2, nous avons trouvé l'un des résultats les plus significatifs de notre étude : une relation négative a été observée entre la fréquence d'utilisation des structures de passage faunique et le nombre de carcasses aux environs de ces structures, c'est-à-dire sur un tronçon de route de 500 m par structure, qui comprend les 200 m clôturés et 150 m de plus de chaque côté. Il y avait donc moins de carcasses dans les endroits où les structures étaient les plus utilisées, et ce, pour l'ensemble des espèces à l'exception du porc-épic d'Amérique (figure 7). Ceci démontre que les

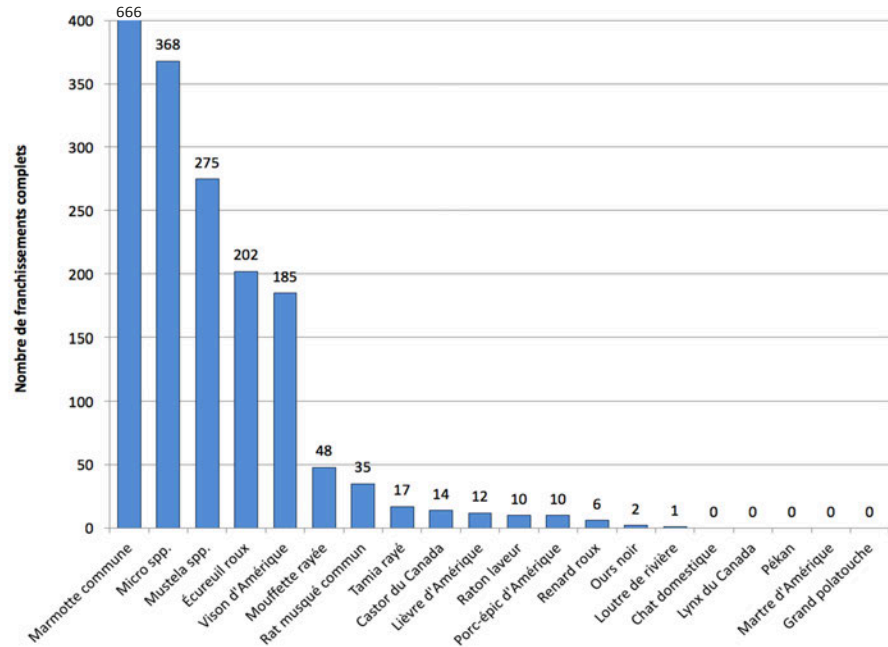


Figure 6. Nombre de franchissements complets observés par espèce – suivi de l'utilisation des structures de passage faunique réalisé par Martinig et Bélanger-Smith (2016) (à l'exception du kilomètre 138).

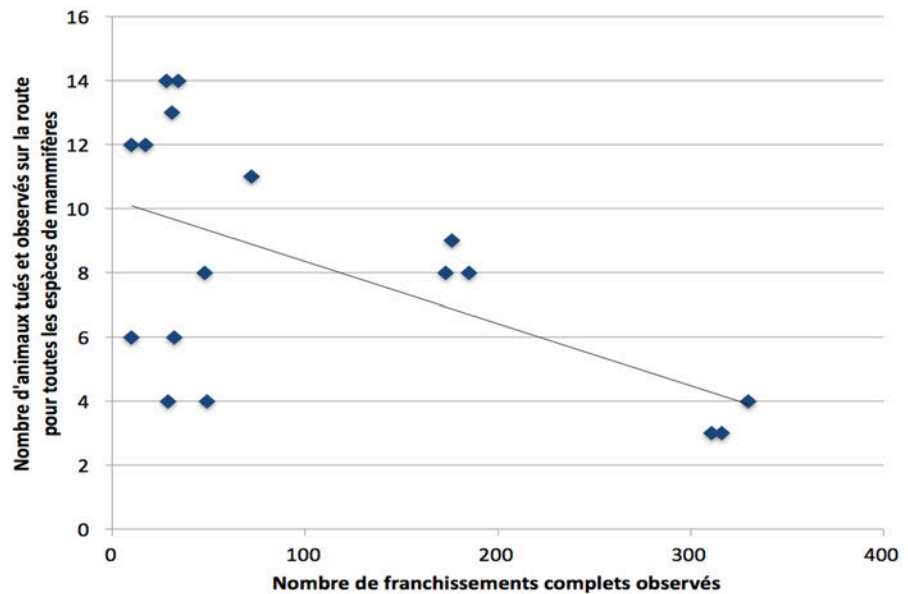


Figure 7. Relation entre la mortalité routière animale documentée au sein des tronçons clôturés de la route 175 (100 m) et à proximité des extrémités de clôtures (200 m de part et d'autre) et l'utilisation des structures de passage faunique dans ces tronçons (à l'exception du porc-épic d'Amérique). $R^2 = 0,33$; $p = 0,016$.

structures de passage faunique aident à réduire la mortalité routière animale si elles sont combinées avec des clôtures d'exclusion et fréquemment utilisées par les animaux.

Tableau 2. Performance générale de trois types de passages fauniques le long de la route 175 (–: inefficace, *: peu efficace, **: satisfaisant ou efficace, *: très efficace). Les espèces sont classées par ordre décroissant de masse corporelle (du plus lourd au plus léger). Le passage type ponceau avec pied sec de type tablette de béton (PTBét) n’a pas été inclus en raison de la petite taille de l’échantillon ($n = 1$).**

Espèce	Performance de trois types de passages fauniques		
	Ponceau sec (PS)	Ponceau avec pied sec de type tablette de bois (PTBois)	Ponceau avec pied sec de type tablette de béton (PTBét)
Castor du Canada	*	**	*
Lynx du Canada	–	–	–
Raton laveur	**	*	*
Loutre de rivière	*	–	–
Porc-épic d’Amérique	*	–	*
Renard roux	**	–	*
Pékan	–	–	–
Marmotte commune	***	***	*
Moufette rayée	***	–	*
Lièvre d’Amérique	*	–	–
Rat musqué commun	**	*	–
Martre d’Amérique	–	–	–
Vison d’Amérique	***	***	***
Écureuil roux	***	**	*
Espèces de <i>Mustela</i>	***	**	**
Grand polatouche	–	–	–
Tamia rayé	**	**	*
Micromammifères	***	*	*
Efficacité globale (sur une échelle de 0 à 10)	5,8	3,3	2,7

Perméabilité de la route à la martre d’Amérique

Au total, le long de la route 175, 32 martres d’Amérique ont été capturées, et 16 d’entre elles ont été dotées d’un collier émetteur (en raison de la faible masse corporelle des autres individus); le long de la route 381, 20 martres ont été capturées et 12 ont été dotées de colliers. Nous avons pu calculer la parenté génétique chez 29 des 32 individus capturés à proximité de la route 175 et chez les 20 individus capturés à proximité de la route 381. Après 3 années d’étude (2013 à 2015), de 7 % à 27 % (soit 4 de nos martres munies d’un collier) ont été retrouvées de l’autre côté de la route 175, mais nous ne sommes certains d’un franchissement de la route par ses propres moyens que pour 1 des 4 martres. En revanche, le pourcentage de martres d’Amérique qui traversaient la route 381 était beaucoup plus élevé (55 %). Nos résultats indiquent que les martres sont capables de traverser la route à 4 voies, mais le font moins souvent que pour la route à 2 voies. Les résultats suggèrent que la route à 4 voies, même avec

les structures de passage faunique, constitue une barrière plus importante que la route à 2 voies dépourvue de tels passages.

L’analyse génétique a mis en évidence une relation négative entre la parenté génétique des martres d’Amérique et la présence des voies de circulation dans la région de la route 175, ce qui laisse croire que la route 175 pourrait constituer un obstacle au déplacement des martres, alors que la route 381 n’est pas un obstacle (voir Jaeger et collab., 2017). En effet, certains éléments indiqueraient que les animaux plus proches géographiquement sont aussi plus proches génétiquement dans la région de la route 381, ce qui nous amène à penser qu’il n’y a pas d’impact apparent de la route. Ces résultats sont également compatibles avec les données de radio-téléométrie VHF.

Il est intéressant de noter que, le long de la route 381 à 2 voies, plusieurs martres d’Amérique ont été observées en train d’utiliser les ponceaux de drainage ordinaires (figure 8). Ceux-ci sont en place depuis plus de 25 ans, ce qui a donné aux animaux plus de temps pour s’habituer à ces structures.



Figure 8. Photo d'une martre d'Amérique utilisant un ponceau de drainage ordinaire le long de la route 381 (à deux voies). Le collier émetteur est visible sur le cou de l'animal.

Un suivi à long terme sera nécessaire afin de savoir si un tel développement d'habitude pourrait aussi se produire le long de la route 175.

Discussion

De façon générale, les espèces plus mobiles s'exposent à un risque accru de mortalité routière, car elles peuvent être amenées à interagir plus souvent avec les routes. Les espèces qui présentent de faibles taux de reproduction et une longue période entre deux générations successives sont également plus vulnérables, car elles sont moins capables de récupérer efficacement après un déclin de population résultant de la mortalité routière (Rytwinski et Fahrig, 2015).

La sécurité des usagers de la route est un facteur important dans les collisions impliquant des mammifères de petite et de moyenne taille. Des estimations de blessures humaines et de dommages aux véhicules résultant de collisions entre les véhicules et des animaux de petite taille ont récemment été publiées dans le Maine : le ministère des Transports du Maine a signalé 621 accidents impliquant des animaux autres que le cerf, l'orignal, l'ours et le dindon sauvage (*Meleagris gallopavo*) de 2010 à 2014, avec des pertes économiques estimées à 7,4 millions de dollars américains (McGuire, 2016). Treize de ces accidents ont entraîné des blessures invalidantes, et 25, des blessures non invalidantes (le Maine fait 7 % de la taille du Québec et compte 1,33 million d'habitants).

Afin de mettre en œuvre efficacement les mesures d'atténuation d'impacts des routes sur la faune, il faut sensibiliser les politiciens, le grand public et les instances gouvernementales aux effets écologiques à court et à long terme des routes et de la circulation motorisée de même qu'aux mesures d'atténuation appropriées. Un travail de collaboration entre les ministères des transports et les écologistes, en soutien à des recherches scientifiques crédibles et à long terme, serait souhaitable pour atteindre les objectifs de durabilité environnementale des projets routiers (van der Ree et collab., 2011).

Recommandations

Sur la base des résultats complets (Jaeger et collab., 2017) résumés ici, nous avons émis 16 recommandations, dont 9 relatives à des suggestions d'amélioration des mesures d'atténuation des structures routières pour la faune et 7 au suivi et à la recherche. Des extraits de certaines d'entre elles sont donnés ici (se référer à Jaeger et collab., 2017 pour la liste complète) :

- Avoir recours à une variété de types de structures de passage faunique et explorer de nouveaux types de structures pour le passage d'espèces comme le porc-épic d'Amérique, le renard roux, la loutre de rivière, le lièvre d'Amérique, la martre d'Amérique, le pékan et le lynx du Canada.
- Améliorer l'efficacité des ponceaux avec tablette de béton (PTBét) en installant des panneaux de bois ou de contreplaqué sur la surface de béton des tablettes, afin que leur efficacité se rapproche de celle des ponceaux secs (PS) et de ceux avec tablette en bois (PTBois).
- Favoriser la conception de passages fauniques sans ouverture dans le terre-plein central.
- Favoriser l'augmentation du couvert végétal arbustif et arborescent entre la forêt et l'entrée des structures de passage faunique; éviter le déboisement et la coupe de végétation dans les secteurs visés par l'installation de telles structures.
- Ajouter des passages fauniques (avec clôtures) dans les zones de concentration de mortalité routière ainsi qu'aux endroits où la végétation est proche de l'emprise routière; par exemple, les travaux de réfection d'un ponceau de drainage présentent une excellente occasion de transformation en passage faunique ou d'adaptation au passage de la faune.
- Établir des normes et standards pour les mesures d'atténuation d'impacts sur la faune de petite et de moyenne taille, applicables à travers le réseau routier du Québec.
- Assurer l'entretien des clôtures d'exclusion faunique; par exemple, réaliser un suivi annuel des clôtures au printemps et procéder aux réparations nécessaires.
- Équiper les nouvelles structures de passage pour la faune de petite et de moyenne taille de clôtures d'exclusion de plus de 100 m de part et d'autre.
- Clôturer les tronçons routiers affectés par des concentrations de mortalité animale et prolonger les clôtures existantes jusqu'à l'entrée des ponceaux de drainage les plus proches.
- Améliorer la conception des clôtures afin notamment d'empêcher l'effet de bout de clôture.
- Mener des études sur l'effet de la longueur des clôtures; par exemple, installer des clôtures assez longues pour que les concentrations de mortalité routière animale observées aux extrémités de clôture (à cause du déplacement des tentatives de franchissement) soient compensées par une réduction de la mortalité animale dans les tronçons de route clôturés.

- Poursuivre le suivi de l'utilisation des structures de passage faunique existantes, notamment afin de déterminer si un plus grand nombre d'espèces peuvent s'y accoutumer et les utiliser à l'avenir.
- Réaliser un suivi de l'utilisation des ponceaux de drainage ordinaires par la faune, notamment afin de déterminer si ces ponceaux peuvent devenir aussi efficaces que les structures dédiées au passage faunique en étant équipés de clôtures visant la faune de petite et de moyenne taille.

Conclusion

Les résultats de cette étude démontrent l'efficacité des structures de passage faunique mises en place le long de la route 175, sur la base d'une grande quantité de données, mais aussi que certaines espèces utilisent peu ou pas les structures de passage, et que des améliorations sont nécessaires.

Ces 4 années de données de base pourraient permettre d'étudier l'impact des routes et l'efficacité à long terme des mesures d'atténuation sur les petits et moyens mammifères le long de la route 175. Il est plus facile de tirer des conclusions dans cette région, en raison de la grande abondance faunique qu'on y trouve, que dans d'autres, caractérisées par une présence faunique moins importante. Ainsi, la route 175 offre des conditions idéales pour de futures recherches visant à améliorer nos connaissances actuelles sur l'efficacité des mesures d'atténuation des impacts des routes sur la faune au Québec, au Canada et ailleurs dans le monde. De telles recherches devraient être réalisées rapidement, car les volumes de trafic sur la route 175 augmentent d'environ 2 % par an (Gabriel Langevin, MTMDET, comm. pers.), ce qui implique que la fenêtre est étroite (quelques années tout au plus) avant que de nouvelles données de base aient besoin d'être collectées.

Remerciements

Nous remercions le MTMDET d'avoir financé ce projet de 2012 à 2017. Les chercheurs ont été soutenus par un comité-conseil élargi composé de représentants des principaux partenaires concernés : M. Lafrance, Y. Bédard, É. Alain, M. Michaud, J. Boucher et A. Turcotte (MTMDET); H. Bastien, Dr P. Blanchette et J.-F. Dumont (ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, MFFP); Y. Leblanc (AECOM Consultants inc.); J.-E. Arseneault, S. Boucher, M. Brunet, B. Dubeau, A. Rouleau (Sépaq); A. D'Astous (Nation Huron-Wendat); L. Desrosiers (ville de Stoneham); H. Sansregret (Forêt Montmorency). Nous sommes également reconnaissants envers la Patrouille Secours et la Sûreté du Québec de la RFL, le Camp Mercier, l'Association régionale des trappeurs Laurentiens, l'Association forestière des deux rives, la Zec des Martres et plusieurs trappeurs pour leur soutien. Au fil des ans, les membres de l'équipe de recherche ont compris, en plus des auteurs : K. Bélanger-Smith, J. Plante et A. Martinig (étudiantes à la maîtrise, Université Concordia); M.-H. Paspaliaris (étudiante au baccalauréat, Université Concordia); R. Lima, R. Marrotte et J. Gaitan-Camacho (chercheurs

associés, Université Concordia); Dr A. Desrochers (Université Laval, Québec); Dr M. Cheveau (MFFP); C. Zambrano, E. Hovington et S. Sherman Quirion (techniciens de terrain); R. Methot (Université Concordia); et plusieurs assistants de recherche : S. Anastasio, K. Azmi, T. Barr, L. Bidinosti, J. Cheng, C. Dewar, M. Down, J. O'Connor, S. Courtemanche, M. Chan, B. Charry, M. Deslauriers, V. Hayot-Sasson, A. Ibanez, A. Jones, L. Ketere, S. Macfarlane, G. Pachmann, D. Robinson et S. Tapper. Finalement, nous remercions les réviseurs scientifiques qui ont contribué à bonifier ce manuscrit, C. Daguet pour la traduction de celui-ci vers le français, et toute l'équipe du *Naturaliste canadien*. ◀

Références

- BÉLANGER-SMITH, K., 2015. Evaluating the effects of wildlife exclusion fencing on road mortality for medium-sized and small mammals along Quebec's Route 175. Thèse de maîtrise. Université Concordia, département de biologie. Disponible en ligne à : <https://spectrum.library.concordia.ca/979605/>. [Visité le 2018-08-21].
- CLEVENGER, A.P., B. CHRUSZCZ et K.E. GUNSON, 2001. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 29 : 646–653.
- CSEKÉSZ, T., B. OTTLECH, Á. CSEKÉSZ-NAGY et J. FARKAS, 2013. Interchange as the main factor determining wildlife-vehicle collision hotspots on the fenced highways: Spatial analysis and applications. *European Journal of Wildlife Research*, 59 : 587–597. doi:10.1007/s10344-013-0710-2.
- FINDLAY, C.S. et J. BOURDAGES, 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology*, 14 : 86–94.
- HUIJSER, M.P., A.V. KOCIOLEK, T.D.H. ALLEN, P. MCGOWEN, P.C. CRAMER et M. VENNER, 2015. Construction guidelines for wildlife fencing and associated escape and lateral access control measures. *Western Transportation Institute*, Montana State University, 218 p. Disponible en ligne à : <https://trid.trb.org/view/1515581>. [Visité le 2018-10-11].
- HUIJSER, M.P., E.R. FAIRBANK, W. CAMEL-MEANS, J. GRAHAM, V. WATSON, P. BASTING et D. BECKER, 2016. Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife-vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. *Biological Conservation*, 197 : 61–68.
- JAEGER, J.A.G., J. BOWMAN, J. BRENNAN, L. FAHRIG, D. BERT, J. BOUCHARD, N. CHARBONNEAU, K. FRANK, B. GRUBER et K. TLUK VON TOSCHANOWITZ, 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, 185 : 329–348.
- JAEGER, J.A.G., K. BÉLANGER-SMITH, J. GAITAN, J. PLANTE, J. BOWMAN et A.P. CLEVENGER, 2017. Suivi de l'utilisation et de l'efficacité des passages à faune le long de la route 175 pour les petits et moyens mammifères. Projet R709.1. Rapport final pour le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec. Université Concordia, Montréal, 494 p. Disponible en ligne sur le site internet du Centre de documentation du MTMDET à : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1202547.pdf>. [Visité le 2018-08-21].
- JUMEAU, J., L. PETROD et Y. HANDRICH, 2017. A comparison of camera trap and permanent recording video camera efficiency in wildlife underpasses. *Ecology and Evolution*, 7 : 7399–7407.
- LAURANCE, W.F., M.J. CAMPBELL, M. ALAMGIR et M.I. MAHMOUD, 2017. Road expansion and the fate of Africa's tropical forests. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5 : article 75. doi:10.3389/fevo.2017.00075.
- MARTINIG, A.R. et K. BÉLANGER-SMITH, 2016. Factors influencing the discovery and use of wildlife passages for small fauna. *Journal of Applied Ecology*, 53 : 825–836.

- MCCOLLISTER, M.F. et F.T. VAN MANEN, 2010. Effectiveness of wildlife underpasses and fencing to reduce wildlife-vehicle collisions. *Journal of Wildlife Management*, 74: 1722–1731. doi:10.2193/2009-535.
- MCGUIRE, P., 2016. Tracking wildlife roadkill in Maine offers a path to saving lives. *Portland Press Herald*, publié le 29 mai 2016, mis à jour le 31 mai 2016. Disponible en ligne à : <http://www.pressherald.com/2016/05/29/tracking-wildlife-roadkill-in-maine-offers-path-to-solutions/>.
- PLANTE, J., 2016. Caractérisation des lieux de mortalité de la faune de petite et moyenne taille le long de la route 175, Québec. Thèse de maîtrise. Université Concordia, Département de Géographie, urbanisme et environnement, 60 p. Disponible en ligne à : <https://spectrum.library.concordia.ca/981532/>. [Visité le 2018-08-21].
- PLANTE, J., J.A.G. JAEGER et A. DESROCHERS (sous presse). How do landscape context and fences influence roadkill locations of small and medium-sized mammals? *Journal of Environmental Management*.
- RYTWINSKI, T. et L. FAHRIG, 2015. The impact of roads and traffic on terrestrial animal populations. Dans: VAN DER REE et collab. (édit.). *Handbook of road ecology*, John Wiley & Sons, Oxford, p. 237-246.
- RYTWINSKI, T., K. SOANES, J.A.G. JAEGER, L. FAHRIG, C.S. FINDLAY, J. HOULAHAN, R. VAN DER REE et E.A. VAN DER GRIFT, 2016. How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. *PLoS ONE*, 11 (11): e0166941.
- SPANOWICZ, A., F.Z. TEIXEIRA et J.A.G. JAEGER (en prép.). Prioritizing road sections for wildlife fencing based on road mortality hotspots and coldspots at multiple scales.
- TITTENSOR, D.P., M. WALPOLE, S.L.L. HILL et 27 autres auteurs, 2014. A mid-term analysis of progress toward international biodiversity targets. *Science*, 346 (6206): 241-244.
- VAN DER REE, R., J.A.G. JAEGER, E.A. VAN DER GRIFT et A.P. CLEVENGER, 2011. Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: Road ecology is moving towards larger scales. *Ecology and Society*, 16 (1): 48.
- VAN DER REE, R., D.J. SMITH et C. GRILO (édit.), 2015. *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Oxford, 522 p.

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

**Ensemble,
 contribuons à protéger
 les habitats fauniques
 et à maintenir
 leur connectivité.**

ENSEMBLE 
 on fait avancer le Québec

Québec 

© Sylvain Chouinard

Comparaison du passage de tortues et de serpents dans des ponceaux de drainage le long de deux autoroutes en Amérique du Nord

Kari E. Gunson

Résumé

Cet article présente 2 études de cas de l'utilisation par les tortues et les serpents de ponceaux de drainage (existants et nouvellement conçus), associés à des clôtures d'exclusion pour la faune, le long de 2 autoroutes : la route 83 aux États-Unis (refuge faunique national de Valentine, Nebraska) et l'autoroute 69 au Canada (forêt boréale, Ontario). Le passage des reptiles dans les ponceaux a été suivi avec des caméras à déclenchement automatique par le mouvement placées au-dessus d'une entrée par ponceau. Les résultats ont montré que les espèces de tortues d'eau douce et de serpents présentes utilisent une variété de ponceaux pour traverser la route. Les serpents approchaient autant les structures que les tortues, mais après qu'ils aient pénétré dans les structures, leurs taux de franchissement étaient significativement différents (81 % pour les tortues et 63 % pour les serpents). Bien que ces études montrent que les reptiles utilisent une variété de ponceaux, d'autres recherches sont nécessaires pour définir les caractéristiques des structures que ces animaux utiliseront davantage. Ces études confirment également que les serpents sont moins disposés que les tortues à utiliser les ponceaux, peut-être en partie à cause de la différence de température entre l'entrée des ponceaux et l'environnement ambiant.

MOTS-CLÉS : atténuation d'impacts routiers sur la faune, ponceau de drainage, serpents, structures de passage faunique, tortues

Abstract

This paper focuses on 2 case studies that monitored turtle and snake use of existing and new drainage culvert structures with exclusion wildlife fencing along 2 major highways: Highway 83 (Valentine National Wildlife Refuge, Nebraska, U.S.A.) and Highway 69 (boreal forest, Ontario, Canada). Turtle and snake passage through drainage culverts was monitored using remote motion-triggered game cameras positioned at the top of one entrance to each culvert. Both studies found that the freshwater turtle and snake species present used a variety of drainage culverts to cross the road. These reptiles approached the culverts equally, but once they entered, their crossing rates were significantly different (81% for turtles and 63% for snakes). Although these studies showed that reptiles will use a variety of drainage culverts, further research is required to define the characteristics of the culvert underpasses that these animals will use. These studies also showed that snakes are less willing than turtles to use culverts, which may be due to changes in temperature between the tunnel entrance and the ambient environment.

KEYWORDS: drainage culvert, highway mitigation measures, snakes, turtles, wildlife crossing structure

Introduction

Les ponceaux de drainage servent à acheminer l'eau sous des voies de circulation (routes, voies ferrées, sentiers ou autres). Souvent, si elles sont placées adéquatement, ces structures contribuent aussi à maintenir la connectivité écologique pour les animaux semi-aquatiques tels que les amphibiens et les reptiles (MRNO, 2016). Un projet de réfection des infrastructures routières peut être l'occasion de réaménager ou d'améliorer les ponceaux existants pour faciliter leur utilisation par les amphibiens et les reptiles, ou d'inclure des ponceaux supplémentaires dans des habitats particuliers pour augmenter les possibilités de franchissement sécuritaire des routes par la faune. L'amélioration des ponceaux existants peut nécessiter l'installation d'un nouveau ponceau amélioré, par exemple dont la taille sera surdimensionnée pour faciliter le passage de la faune à cet endroit.

Bien que peu de recherches aient été menées pour évaluer le type de ponceau que les tortues et les serpents préfèrent utiliser, on sait que la taille du ponceau, la température, la quantité de lumière et le débit d'eau à l'intérieur de celui-ci

sont susceptibles d'influencer l'utilisation des structures par les reptiles (voir Sievert et Yorks [2015] pour les tortues et MRNO [2016] pour les tortues et serpents).

Le débit de l'eau peut être modifié en faisant varier la taille, l'emplacement ou les matériaux de construction du ponceau, ou en installant des chicanes pour interrompre ou ralentir le courant. La végétation et tous les débris susceptibles de bloquer le passage de l'eau doivent idéalement être nettoyés. Afin d'améliorer l'efficacité des ponceaux pour le passage de la faune, des clôtures d'exclusion doivent également être installées pour diriger les animaux vers l'entrée des structures et constituer une barrière visant à les exclure des voies de circulation (Dodd et collab., 2004).

Les informations présentées dans cet article proviennent de données collectées au cours de 2 projets d'étude mettant en œuvre des méthodes de suivi similaires pour évaluer l'utilisation

Kari E. Gunson est biologiste spécialisée en écologie routière chez Eco-Kare International.

kegunson@eco-kare.com

par les tortues et les serpents de ponceaux de drainage existants ou spécialement conçus pour la faune (surdimensionnés). Ces données ont été utilisées dans l'objectif spécifique de documenter et de comparer l'utilisation des structures en question par les serpents et les tortues.

Sites d'étude

Refuge faunique national de Valentine

Le premier site d'étude est situé sur la route 83 dans le refuge faunique national de Valentine au Nebraska, aux États-Unis (figure 1a). La zone d'étude était un tronçon de 19,3 km de la route 83 qui traverse un écosystème de dunes constitué d'une alternance de crêtes et de vallées sablonneuses (Huijser et collab., 2017). Chaque vallée de part et d'autre de cette route à 2 voies comprend 1 lac, et l'écoulement de l'eau sous l'autoroute est facilitée grâce à 11 ponceaux de drainage. Tous ces ponceaux sauf 1 ont été conçus pour le drainage et ont un diamètre compris entre 0,9 et 1,2 m (figure 2a). Au début des années 2000, des clôtures d'exclusion faunique (chacune mesurant de 240 à 650 m de long) ont été installées le long de 5 tronçons de route qui traversent des vallées et des dunes. La clôture à mailles métalliques sans surplomb (c'est-à-dire sans retour vers le milieu naturel) mesure 90 cm de haut, dont 3,8 cm ont été enterrés dans le sol (figure 2b).

Forêt boréale

Le deuxième site d'étude est situé le long de l'autoroute 69 qui s'étend sur 160 km dans la forêt boréale de l'Ontario, entre

Parry Sound et Sudbury, au Canada (figure 1b). La région est caractérisée par des activités de villégiature et de nombreuses résidences secondaires, mais elle compte peu de résidents permanents. L'autoroute traverse la réserve de biosphère de la baie Georgienne ainsi qu'une grande étendue rocheuse du Bouclier canadien, de vastes milieux humides et plusieurs rivières. Le site d'étude est constitué de 5 sections de l'autoroute à 4 voies qui ont fait l'objet de mesures d'atténuation d'impacts sur la faune. Chacune de ces sections comporte des ponceaux de différentes tailles conçus pour le drainage, et plusieurs ont été placés sur des terrains plus élevés sélectionnés spécifiquement pour le passage de la faune terrestre. Les dimensions et les matériaux des ponceaux destinés à la fois au déplacement de la faune et au drainage sont variables, allant de tuyaux en acier ondulé de 1,2 m de diamètre à des ponceaux rectangulaires en béton mesurant jusqu'à 2,4 m de haut par 3,3 m de large (voir un exemple à la figure 2c). Des clôtures d'exclusion visant les reptiles ont été installées le long des 5 sections pourvues de mesures d'atténuation adjacentes à chacun des ponceaux suivis. Les clôtures de 4 de ces 5 sections étaient constituées d'un treillis de mailles métalliques attaché à des poteaux d'acier, enterré de 20 cm dans le sol et laissant apparaître une hauteur de 80 cm au-dessus (figure 2c). Les clôtures situées dans la partie la plus au nord étaient constituées de matériaux géotextiles partiellement enfouis et attachés à la partie inférieure de clôtures d'exclusion existantes visant la grande faune (Baxter-Gilbert et collab., 2015).

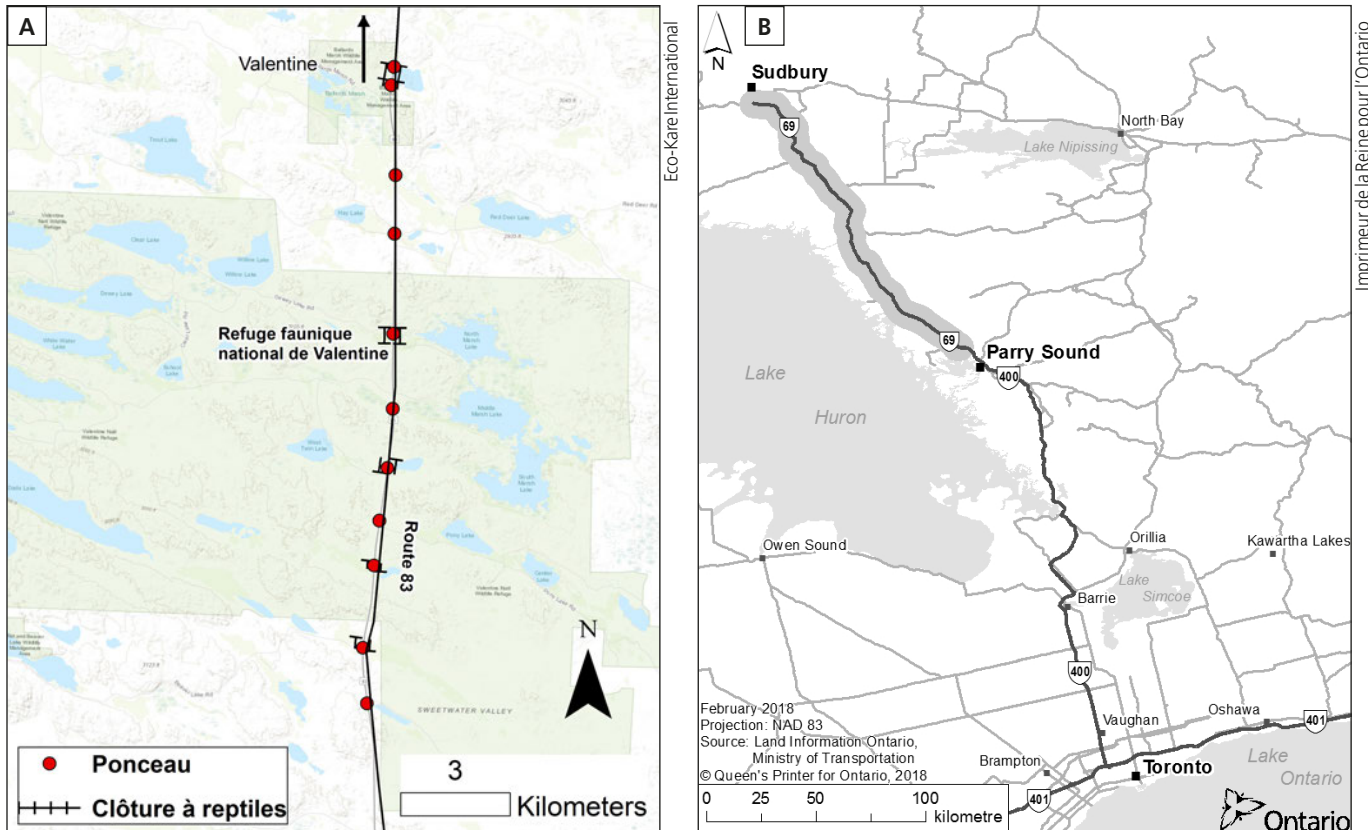


Figure 1. Cartes des 2 sites d'étude : a) site du refuge faunique national de Valentine, le long de la route 83 (Nebraska, États-Unis); b) site de la forêt boréale le long de l'autoroute 69 (Ontario, Canada).



Kari Gunson

Méthodologie

Pour les 2 sites d'étude, une caméra à déclenchement automatique par le mouvement (modèle Reconyx PC800 ou PC900) a été installée au-dessus d'une entrée de chacun des ponceaux sélectionnés pour le suivi de l'utilisation par la faune (figure 2a). Au site du refuge faunique national de Valentine, le long de la route 83, les caméras ont été programmées pour un déclenchement par le mouvement uniquement, alors que le long de l'autoroute 69, dans la forêt boréale, les caméras ont été programmées pour un déclenchement par le mouvement ainsi qu'à intervalles fixes présélectionnés (10 à 15 secondes). De plus, des roches ont été placées sur le substrat des ponceaux afin de diriger la faune sous le champ de détection de la caméra (figure 2a). Lorsque de l'eau coulait dans le ponceau, les roches atteignaient la surface de l'eau; leur empilement était ajusté en fonction des fluctuations du niveau d'eau afin d'optimiser la détection des déplacements fauniques. Au site du refuge de Valentine, des caméras ont été installées à l'une des extrémités de 8 ponceaux et étaient opérationnelles du 1^{er} avril au 30 septembre 2016. Au site de la forêt boréale, des caméras ont été installées à l'une des extrémités de 18 ponceaux et ont été en marche de juin à septembre en 2015, 2016 et 2017. Des franchissements complets par les tortues et les serpents ont eu lieu lorsque les animaux ont pénétré dans le ponceau et ne l'ont pas retraversé le même jour. Un demi-tour avait lieu lorsque l'animal déclenchait la caméra en pénétrant et en se déplaçant dans la structure, mais faisait demi-tour pour quitter cette structure le jour même.

Le nombre total de franchissements et de demi-tours a été comptabilisé pour les tortues et les serpents à chaque ponceau pour les 2 sites. Un test du Khi carré (χ^2) de Pearson a ensuite été appliqué aux résultats obtenus pour mesurer si la proportion de serpents qui traversaient la structure différait significativement de celle des tortues.



Figure 2. Exemples de ponceaux suivis et de clôtures d'exclusion sur les sites d'études: a) caméra installée au-dessus d'un ponceau le long de la route 83, dans la réserve faunique nationale de Valentine (Nebraska, États-Unis); b) tortue serpentine se déplaçant le long de la clôture à mailles métalliques en bordure de la route 83 au Nebraska, États-Unis; c) ponceau avec clôtures d'exclusion et roches dirigeant les animaux sous la caméra, le long de l'autoroute 69 en Ontario, Canada.

Résultats

Refuge faunique national de Valentine

Sur les 8 ponceaux suivis, les caméras ont confirmé que les tortues ont réalisé 55 franchissements de ponceaux (soit 79 % des observations, avec 38 tortues serpentes [*Chelydra serpentina*], 9 tortues peintes [*Chrysemys picta*], 8 tortues mouchetées [*Emydoidea blandingii*]), alors que 14 observations (21 % des observations) étaient des demi-tours. Trois espèces de serpents ont été détectées dans les ponceaux, soit la couleuvre rayée (*Thamnophis sirtalis*), la couleuvre agile (*Coluber constrictor*) et la couleuvre à nez mince (*Pituophis catenifer*). Parmi les serpents qui sont entrés dans les ponceaux, 60 % (68 observations) ont réalisé des franchissements complets, tandis que 40 % (45 observations) ont fait demi-tour.

Forêt boréale

Sur les 18 ponceaux suivis, les caméras ont enregistré 71 franchissements par les tortues (soit 83 % des observations, avec 39 tortues serpentes, 27 tortues peintes et 5 tortues mouchetées) et 15 tortues (17 % des observations) sont entrées dans un ponceau et ont fait demi-tour. Cinq espèces de serpents

ont été détectées dans les ponceaux, soit la couleuvre rayée (18 observations); la couleuvre à nez plat (*Heterodon platirhinos*, 9 observations), le massasauga (*Sistrurus catenatus*, 1 observation), la couleuvre tachetée (*Lampropeltis triangulum*, 2 observations) et la couleuvre d'eau (*Nerodia sipedon*, 14 observations). De tous les serpents qui ont utilisé les ponceaux, 31 ont réalisé des franchissements complets (70 % des observations), alors que 13 ont fait demi-tour (30 % des observations). Les observations de reptiles ont été réalisées dans 12 ponceaux, dont 2 étaient secs et n'avaient jamais d'eau et 10 présentaient un débit d'eau intermittent au cours des périodes de suivi.

En combinant les observations réalisées aux 2 sites de suivi, les nombres de tortues ($n = 155$) et de serpents ($n = 157$) ayant pénétré dans les ponceaux de drainage sont pratiquement égaux; cependant, les tortues étaient plus susceptibles de continuer à traverser le ponceau (81 % du temps, contre seulement 63 % du temps pour les serpents, figure 3). Cette différence de taux de franchissement était significative ($\chi^2 = 12,8944$; degrés de liberté = 1, $p = 0,0003$).

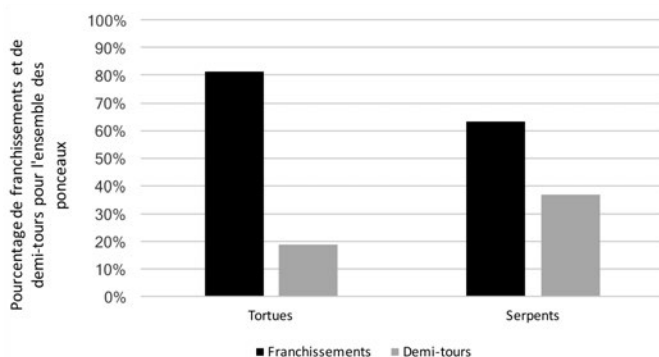


Figure 3. Pourcentage de franchissements et de demi-tours par les tortues et les serpents pour l'ensemble des ponceaux suivis aux 2 sites d'étude.

Conclusion

Des analyses supplémentaires devront être réalisées pour déterminer la préférence de chaque espèce quant aux types de ponceaux en fonction du niveau d'eau, de la taille de la structure et de la proximité d'habitat naturel adéquat, comme l'a fait une étude similaire réalisée sur les petits mammifères au parc national Banff dans l'Ouest canadien (Clevenger et collab., 2001). Bien que la présente étude n'ait pas cherché à déterminer le type ni la taille de ponceaux les plus efficaces pour une utilisation par les reptiles sous une route principale, les résultats préliminaires montrent néanmoins que les reptiles utilisent effectivement différents types de ponceaux de diamètre inférieur ou égal à 2,4 m de hauteur par 3,3 m de largeur. Ils suggèrent également que les tortues sont plus « disposées » à utiliser ces structures que les serpents.

Les tortues et les serpents sont des animaux ectothermes, ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas contrôler leur température interne et que celle-ci varie en fonction des conditions environnementales. La température dans les grands ponceaux

ouverts peut être assez semblable à la température ambiante à l'entrée du ponceau, ce qui n'est pas le cas pour des structures plus petites et plus sombres. Par conséquent, les structures plus grandes et plus ouvertes pourraient être plus propices au franchissement par les reptiles. Toutefois, d'autres recherches sont nécessaires pour évaluer si les écarts de température entre l'environnement ambiant et l'entrée du ponceau sont tels que les serpents sont effectivement moins enclins à y pénétrer (par exemple, Colley et collab., 2017). Il est également possible que les tortues soient plus enclines à traverser sous des routes clôturées en passant par des ponceaux au cours du mois de juin, période à laquelle la majorité des relevés sur le terrain ont été effectués, car il s'agit probablement en grande partie de femelles à la recherche de sites de ponte.

Remerciements

Un remerciement spécial aux réviseurs anonymes qui ont contribué à améliorer ce manuscrit en vue de sa publication dans cette édition spéciale. Le Dr Marcel Huijser du Western Transportation Institute était le principal chercheur impliqué dans l'étude au Valentine National Wildlife Refuge, financée par le Fish and Wildlife Service des États-Unis et le Nebraska Department of Transportation. Andrew Healy et Terri Rogers, du ministère des Transports de l'Ontario (MTO), étaient gestionnaires du projet d'étude sur la forêt boréale, financé par le ministère des Transports de l'Ontario. Finalement, nous remercions Caroline Daguette pour la traduction du texte vers le français, ainsi que toute l'équipe du *Naturaliste canadien* pour son travail d'édition. ◀

Références

- BAXTER-GILBERT, J.H., J.L. RILEY, D. LESBARRÈRES et J.D. LITZGUS, 2015. Mitigating reptile road mortality: Fence failures compromise ecopassage effectiveness. *Plos One*, 10:e0120537.
- CLEVINGER, A.P., B. CHRUSZCZ et K.E. GUNSON, 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology*, 38:1340-1349.
- COLLEY, M., S.C. LOUGHEED, K. OTTERBEIN et J.D. LITZGUS, 2017. Mitigation reduces road mortality of a threatened rattlesnake. *Wildlife Research*, 44 (1): 48-59.
- DODD, K.J., W.J. BARICHVICH et L.L. SMITH, 2004. Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation*, 118: 619-631.
- HUIJSER, M.P., K.E. GUNSON et E.R. FAIRBANK, 2017. Effectiveness of chain link turtle fence and culverts in reducing turtle mortality and providing connectivity along U.S. Hwy 83, Valentine National Wildlife Refuge, Nebraska, USA. Final report prepared for the U.S. Fish & Wildlife Service and Nebraska Department of Transportation, 40 p. Disponible en ligne à : https://westerntransportationinstitute.org/research_projects/evaluating-measures-to-minimize-blandings-turtle-road-mortality-along-nebraska-highways/. [Visité le 2018-08-24].
- [MRNO] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DES FORÊTS DE L'ONTARIO, 2016. Best management practices for mitigating the effects of roads on amphibians and reptile species at Risk in Ontario. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 112 p. Disponible en ligne à : https://files.ontario.ca/bmp_herp_2016_final_final_resized.pdf. [Visité le 2018-08-24].
- SIEVERT, P.R. et D.T. YORKS, 2015. Tunnel and fencing options for reducing road mortalities of freshwater turtles. Final report prepared for the Massachusetts Department of Transportation, Boston, 87 p. Disponible en ligne à : https://rosap.nhtl.gov/view/dot/36355/dot_36355_DS1.pdf. [Visité le 2018-08-24].

Passage à tortues de la route 245 à Bolton-Est (Estrie): un bel exemple de partenariat

Clément Robidoux

Résumé

La dynamique des populations de tortues repose sur une grande longévité des adultes afin de compenser le faible recrutement en jeunes. Des pertes d'individus occasionnées par une mortalité excédentaire, comme la mortalité routière, ne peuvent être compensées rapidement et exposent les populations à des déclins ou même à des extinctions locales. En 2012, une étude a débuté afin de documenter la mortalité routière des tortues le long de la route 245, identifiée comme une menace pour les populations de la rivière Missisquoi Nord adjacente. Après 2 ans, les données recueillies permettaient d'identifier certains secteurs accidentogènes. Parallèlement, un partenariat entre les intervenants locaux et régionaux (ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, ministère des Transports du Québec [MTQ] et municipalité de Bolton-Est) a permis d'entreprendre des mesures pour réduire la mortalité routière des tortues dans les secteurs névralgiques. Le MTQ a ensuite intégré plusieurs éléments favorisant le passage sécuritaire des tortues à ses travaux de réfection d'un ponceau situé dans un secteur accidentogène. La participation des partenaires à toutes les étapes du projet a été déterminante dans le succès obtenu jusqu'à présent, et continuera de l'être pour les étapes à venir.

MOTS CLÉS: connectivité, mortalité routière animale, passage faunique, route provinciale, tortue

Abstract

Turtle population dynamics rely on the longevity of adults to compensate for low juvenile recruitment. Consequently, they cannot recover rapidly from the loss of individuals caused by excess mortality, such as roadkill, which exposes them to significant population declines—and can potentially lead to local extinction. In 2012, a study was initiated to document turtle roadkill rates along Route 245 (a regional road in the Estrie region of Québec, Canada), identified as a threat to turtle populations in the adjacent Missisquoi Nord River. Two years of data collection were sufficient to identify some of the problem areas. In parallel with the study, a partnership with local and regional stakeholders (including the Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, the Ministère des Transports du Québec [MTQ] and the municipality of Bolton-Est) was initiated to implement roadkill mitigation measures in the most severely impacted areas. To facilitate the safe passage of turtles under Route 245, the MTQ integrated several of these measures into its scheduled culvert replacement work. All partners played a key role in the successes achieved and will continue to be involved during the ongoing monitoring phase.

KEYWORDS: connectivity, provincial road, roadkill, turtle, wildlife passage

Introduction

L'urbanisation, l'agriculture à grande échelle et l'industrialisation ont, au cours des dernières décennies, entraîné des conséquences significatives sur les milieux naturels du sud du Québec — notamment la fragmentation des habitats (Cormier et collab., 2012). Pour faire face à cette problématique, plusieurs solutions peuvent être mises de l'avant, y compris une bonne planification du réseau d'aires protégées visant la conservation ou la restauration de milieux naturels, ainsi que le maintien ou la restauration de la connectivité entre ces milieux (Gratton et collab., 2011; Beckman et collab., 2010). Ce sont notamment les objectifs ciblés par Corridor appalachien, un organisme de conservation qui a pour mission de protéger les milieux naturels et la biodiversité de la région des Appalaches du sud du Québec. Corridor appalachien œuvre dans la région touristique des Cantons-de-l'Est, une région majoritairement montagneuse où de vastes vallées abritent d'importantes populations de tortues. L'organisme s'intéresse depuis 2002 à

la protection des populations de ces reptiles sur son territoire d'action, particulièrement celles de tortue des bois (*Glyptemys insculpta*), une espèce désignée menacée au Canada et vulnérable au Québec (COSEPAC, 2007; Gazette officielle du Québec, 2005).

Les amphibiens et les reptiles sont particulièrement sensibles aux modifications apportées à leur environnement naturel (Desroches et Rodrigue, 2004; Ernst et Lovich, 2009). Au Québec, comme ailleurs dans le monde, les amphibiens et les reptiles connaissent un déclin majeur, surtout en raison de la perte et de la modification de leurs habitats, résultant notamment du développement urbain et des activités anthropiques connexes (Gibbons et collab., 2000; Ouellet et collab., 2005; Seburn et

Clément Robidoux est biologiste et coordonnateur à la conservation pour Corridor appalachien, un organisme de conservation à portée régionale œuvrant dans les Cantons-de-l'Est.

clement.robidoux@corridorappalachien.ca

Bishop, 2007). Par exemple, la multiplication des routes et le fait que les accotements de gravier ou de sable meuble créent des sites attrayants pour la ponte rendent les tortues particulièrement vulnérables à la mortalité routière, à la prédation et au prélèvement humain (COSEPAC, 2008; Desroches et Rodrigue, 2004; Gibbs et Shriver, 2002). Les ressources financières étant limitées, les actions de conservation doivent être réalisées aux endroits stratégiques, là où elles auront le plus de retombées positives. Il est alors pertinent de recourir à des outils permettant de cibler les zones d'intervention prioritaires. Afin d'atteindre ses objectifs de conservation concernant les populations de tortue des bois sur son territoire, Corridor appalachien a procédé à l'identification des habitats de grande qualité et des secteurs présentant d'importantes menaces pour la tortue des bois ou son habitat, notamment en raison de la proximité du réseau routier (Robidoux, 2009).

Un tronçon de route particulièrement accidentogène

La portion nord de la rivière Missisquoi Nord, située entre Eastman et le Canton de Potton, a été identifiée comme un secteur potentiellement problématique pour les tortues. La route 245 longe la rivière à cet endroit et constitue la principale menace touchant les populations de tortues. La limite de vitesse sur cette route est élevée (90 km/h) et un fort débit de circulation y est enregistré (environ 2000 véhicules/jour; MTQ, 2012). En plus de la rivière, plusieurs milieux humides, ainsi que des sablières et des gravières, sont présents de part et d'autre de l'emprise routière. Puisque la dynamique des populations de tortues repose sur une grande longévité des adultes afin de compenser le faible recrutement en jeunes, ces espèces ne peuvent répondre rapidement aux pertes d'individus occasionnées par une mortalité excédentaire (Congdon et collab., 1993; Galois et Bonin, 1999). En conséquence, les populations de tortues affectées par la mortalité routière peuvent rapidement s'exposer à un déclin significatif et courent le risque de disparaître localement (Beaudry et collab., 2008; Environnement et Changement climatique Canada, 2016; Gibbs et Shriver, 2002). Une étude a été conduite par Corridor appalachien de 2012 à 2017 pour identifier les zones potentiellement accidentogènes pour les tortues le long de la route 245 et recommander, si nécessaire, la mise en place de mesures de protection spécifiques dans les zones les plus problématiques. Inspirée de Desroches et Picard (2007), elle consistait à réaliser des inventaires quotidiens sur la route 245 pendant la période de ponte des tortues, soit de la fin mai au début juillet de chaque année. Les travaux étaient majoritairement effectués par les employés de Corridor appalachien, mais des bénévoles y ont également grandement contribué. Une invitation avait été diffusée par l'entremise du bulletin d'information de l'organisme. De plus, les personnes intéressées à participer recevaient une trousse avec le protocole d'inventaire, des fiches de prise de données, un guide d'identification des tortues, un gilet de sécurité réfléchissant et un appareil GPS portatif.

Après les 2 premières années de collecte de données, 27 tortues avaient été observées sur le tronçon de 16 km de la route 245 situé entre Eastman et le Canton de Potton, et 16 d'entre elles avaient été happées mortellement (Lafrenière et Sicotte, 2013). De plus, le tiers des observations étaient concentrées sur un tronçon d'un kilomètre. La cartographie des sites d'observation des tortues a permis d'identifier clairement 2 secteurs accidentogènes, dont celui de l'étang Peasley à Bolton-Est (figure 1; Lafrenière et Sicotte, 2013). À cet endroit, la route 245 scinde un important milieu humide tributaire de la rivière Missisquoi Nord. De plus, cette rivière à méandres coule tout près de la route (à moins de 30 m par endroits), alors que des gravières et des sablières offrant des milieux favorables à la ponte sont situées de part et d'autre de la route 245 (figure 1).

Une fois les secteurs accidentogènes identifiés, les résultats ont été présentés au ministère des Transports du Québec (MTQ) et au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP) afin de définir et mettre en place des mesures de protection spécifiques aux tortues à ces endroits. Pour atteindre cet objectif, Corridor appalachien et ses partenaires avaient alors émis différentes recommandations, les principales étant : 1) que le MTQ mette en place des mesures concrètes d'amélioration de la perméabilité faunique de la route 245; 2) que Corridor appalachien poursuive ses activités d'acquisition de connaissances sur la mortalité routière des tortues au-delà de 2 ans; 3) qu'une étude soit réalisée afin de déterminer l'utilisation par les tortues des milieux naturels et anthropiques adjacents aux tronçons de route accidentogènes; et 4) que des activités de sensibilisation à la présence des tortues sur la route pendant la période de ponte soient réalisées auprès des citoyens et des propriétaires concernés.

Travaux de réfection routière

Peu de temps après cette première rencontre, le MTQ a informé Corridor appalachien que des travaux de réfection sur le ponton 5477-0 de la route 245, au niveau de l'étang Peasley à Bolton-Est, étaient prévus à leur calendrier régulier et que, dans le cadre de ce projet, des mesures particulières pourraient être prises afin de prendre en compte la problématique de mortalité routière des tortues soulevée par l'étude de Lafrenière et Sicotte (2013). Rapidement, des rencontres de travail ont été amorcées avec le MTQ, le MFFP et Corridor appalachien. Une entente de partenariat a également été conclue entre les 3 parties afin d'assurer une coordination efficace et un suivi à long terme du projet. Lors des étapes préparatoires au projet, et comme l'avaient recommandé Lafrenière et Sicotte (2013), il a été convenu de poursuivre les activités d'acquisition de connaissances sur la mortalité routière des tortues et de documenter l'utilisation par les tortues des milieux adjacents au tronçon de route accidentogène. L'hypothèse de départ était que la présence d'habitats naturels de qualité ainsi que de gravières et de sablières (attrayantes comme sites de ponte) de part et d'autre de la route 245 expliquerait l'abondance de tortues sur ce tronçon de route. Pour la vérifier, une étude sur l'utilisation

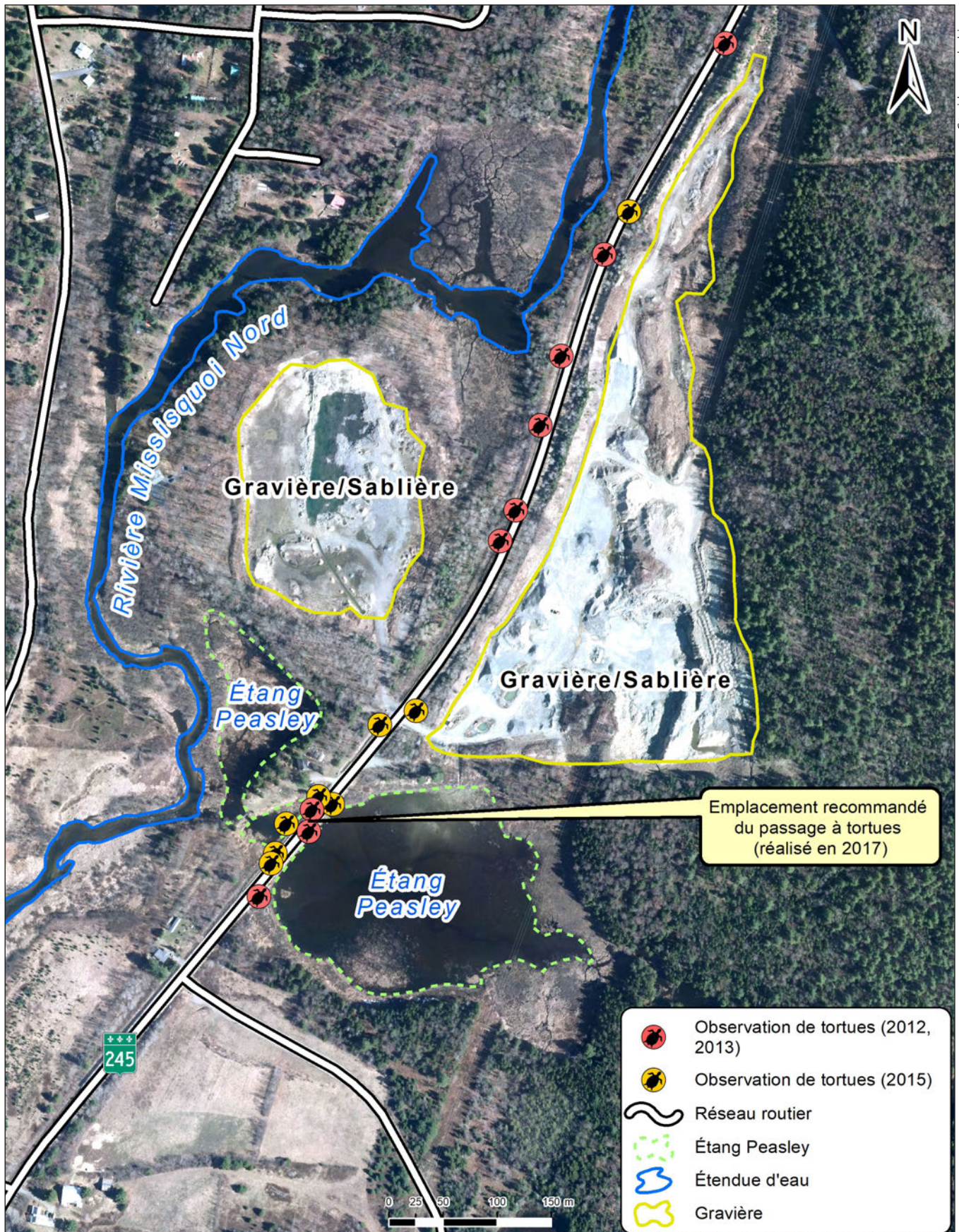


Figure 1. Emplacement des tortues observées sur la route 245 pour les années 2012, 2013 et 2015 (secteur de l'étang Peasley, municipalité de Bolton-Est).

des gravières et des sablières de ce secteur a été entreprise en 2015. Les travaux de Sirois et Vallières (2015) ont permis de confirmer que l'une de ces gravières était effectivement utilisée par la tortue des bois, la tortue peinte (*Chrysemys picta*) et la tortue serpentine (*Chelydra serpentina*) pour la ponte. La présence d'un site de ponte, combinée à la vétusté du ponceau sous la route 245 qui ne permettait plus un lien aquatique adéquat entre les portions est et ouest du milieu humide, pouvaient expliquer l'abondance de tortues sur ce tronçon de route, particulièrement pendant la période de ponte. L'objectif des 3 parties était de concevoir un aménagement qui répondrait à la problématique et qui serait basé sur des données probantes issues de projets similaires réalisés ailleurs. Il s'est toutefois avéré que peu d'expertise existait au Québec dans ce domaine. Des contacts ont alors été établis avec des professionnels de l'État du Massachusetts (Department of Transportation, Division of Fisheries and Wildlife, University of Massachusetts). Plusieurs sites aménagés au Massachusetts pour le passage des tortues ont été visités afin d'orienter le projet de l'étang Peasley à Bolton-Est, notamment pour connaître les caractéristiques physiques des passages à tortues et les clôtures les plus efficaces pour les diriger vers ces structures (Jackson, 2003; Sievert et Yorks, 2012; Yorks, 2015). À l'été 2017, le remplacement du ponceau 5477-0 et l'aménagement d'un passage terrestre pour les tortues ont été réalisés sous la supervision du MTQ. Des clôtures de déviation

ont aussi été installées de part et d'autre de la route 245. Un ponceau préfabriqué en béton, de 2,5 m de haut par 2,5 m de large, a remplacé l'ancien ponceau d'acier (figure 2a). Cette nouvelle structure d'environ 20 m de long constitue le passage aquatique. Le passage terrestre aménagé une vingtaine de mètres plus au nord est, quant à lui, constitué d'un tunnel préfabriqué en béton polymère de marque ACO, livré en sections de 50 cm de large par 32 cm de haut et de 1 m de long (figure 2b). Ce tunnel de 12 m de long a été positionné au niveau de la route, et sa partie supérieure est ajourée afin que la lumière puisse y pénétrer. Dans le but de maintenir les tortues à l'extérieur des voies de circulation et de les inciter à utiliser les passages qui leur sont dédiés, une clôture de déviation d'une hauteur totale de 120 cm (enfouie sur une profondeur de 50 cm, avec 70 cm hors sol) a été installée de part et d'autre de la route (figure 2c). Cette clôture est constituée d'un grillage à mailles de 12,7 mm de diamètre, et sa partie supérieure est recouverte d'une tôle lisse de 15 cm de large afin de dissuader les tortues de grimper par-dessus. Environ 200 m de clôture ont ainsi été installés sur chaque côté de la route, derrière les glissières de sécurité. Par ailleurs, pour permettre aux tortues qui se trouveraient malencontreusement sur les voies de circulation de retourner dans le milieu naturel de façon sécuritaire, 7 échappatoires constituées de trouées de 15 cm de haut par 1,8 m de large ont été pratiquées dans cette clôture. Chaque trouée a été aménagée



Figure 2. Photographies du passage à tortues de la route 245 à Bolton-Est: a) ponceau préfabriqué en béton; b) tunnel préfabriqué en béton polymère; c) clôture de déviation et échappatoire.

au-dessus d'une bordure de béton de 50 cm de haut qui agit telle une barrière empêchant les tortues provenant du milieu naturel d'accéder à la route 245 (figure 2c).

Puisqu'il s'agissait du premier passage terrestre pour tortues réalisé par le MTQ sur le réseau routier provincial, les partenaires impliqués ont jugé qu'il était particulièrement pertinent de documenter toutes les étapes de réalisation du projet, puis de procéder à un suivi de l'utilisation de ces passages par les tortues. Corridor appalachien et le MFFP se sont donc engagés à réaliser ce suivi, à compter de 2018, pour une période minimale de 3 ans. Pour ce faire, des caméras à déclenchement automatique ont été installées près des nouvelles structures. Une caméra (Spypoint, modèle Force-10 et Force-11) a été installée à chaque extrémité du passage terrestre, chacune pointant vers l'ouverture du passage et enregistrant de façon continue une image toutes les 5 minutes. Le déclenchement à intervalles réguliers a été préconisé, puisque la sensibilité des détecteurs de mouvements dont sont munies ces caméras n'est généralement pas suffisante pour que le déplacement d'une tortue génère un déclenchement. De plus, deux caméras ont été installées à l'entrée est du passage aquatique (Bushnell, modèle Trophy Cam Aggressor) : une pointant vers l'intérieur du ponceau et l'autre vers l'extérieur. Ces caméras ont également été configurées afin de prendre une photo automatiquement à intervalles de 5 minutes, mais elles se déclenchent aussi par la détection de mouvement. En plus du suivi photographique, Corridor appalachien poursuit, depuis le printemps 2018, le suivi de la mortalité routière des

tortues sur ce tronçon de la route 245. Ce suivi permettra d'évaluer l'efficacité des nouveaux passages à réduire les collisions des véhicules avec les tortues sur ce tronçon de route. Le MTQ s'est quant à lui engagé à inspecter et à entretenir les structures, de même qu'à nettoyer le passage terrestre chaque printemps.

Suivi de l'utilisation des passages

La période la plus propice pour la détection des déplacements de tortues coïncide avec la période de ponte de ces espèces, soit de la mi-mai à la mi-juillet pour les espèces présentes sur l'aire d'étude (Desroches et Rodrigue, 2004). Les femelles en quête d'un lieu adéquat pour pondre leurs œufs effectuent des déplacements pouvant atteindre, chez certains individus, plusieurs kilomètres (Équipe de rétablissement des tortues du Québec pour les années 2005 à 2010, 2005), jusqu'à 8 km répertoriés chez la tortue des bois (Harding et Bloomer, 1979). À l'automne 2017, les données préliminaires recueillies ne permettaient pas encore de confirmer l'utilisation des nouvelles structures par les tortues. Il faut toutefois considérer que les travaux de construction se sont terminés à la fin du mois d'août et que la mise en place des caméras n'a pu se faire qu'au début du mois d'octobre, soit en dehors de la période la plus propice pour enregistrer les déplacements de tortues. D'autres espèces animales ont cependant été captées par les caméras, et ce, très peu de temps après la fermeture du chantier (figures 3 et 4).

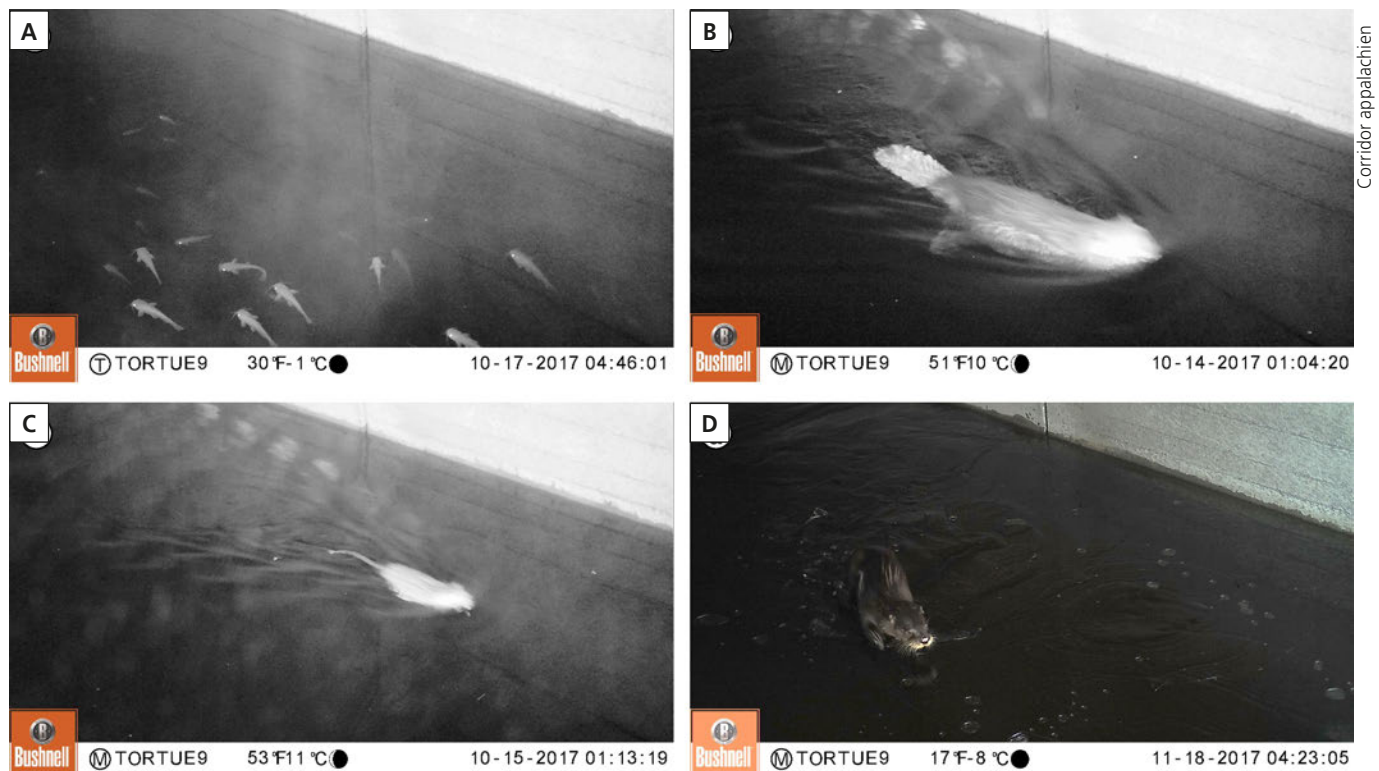


Figure 3. Photographies de différentes espèces qui ont utilisé le passage aquatique de la route 245 à Bolton-Est : a) poissons; b) castor du Canada; c) rat musqué; d) loutre de rivière.



Figure 4. Photographies de différentes espèces qui ont utilisé le passage terrestre de la route 245 à Bolton-Est): a) mustélide; b) raton laveur; c) micromammifère; d) écureuil roux.

En effet, le remplacement du ponton d'acier désuet par le ponton de béton a, entre autres, permis de rétablir la libre circulation du poisson au sein du cours d'eau (figure 3a). De plus, ce passage aquatique a été utilisé par d'autres espèces, dont le castor du Canada (*Castor canadensis*), le rat musqué (*Ondatra zibethicus*), la loutre de rivière (*Lutra canadensis*), le vison d'Amérique (*Neovison vison*), le harle couronné (*Lophodytes cucullatus*) et des grenouilles (*Anura spp.*).

Le passage terrestre a, quant à lui, été utilisé par 2 mammifères de taille moyenne, soit un mustélide non identifié ressemblant à un vison d'Amérique (figure 4a) et un raton laveur (*Procyon lotor*; figure 4b). De plus, quelques micromammifères ainsi qu'un écureuil roux (*Tamiasciurus hudsonicus*) ont été photographiés à l'entrée du passage; leur utilisation de la structure n'a cependant pas été confirmée (figures 4c et d). En excluant les photos associées à des poissons à l'intérieur du passage aquatique (soit près de 7 500 photos), environ 350 photos d'activités animales (associées à une douzaine d'espèces) ont été captées pendant la période où les caméras étaient en marche (soit du 5 octobre au 21 novembre 2017).

Les données préliminaires recueillies confirment que les nouvelles structures aménagées par le MTQ sont utilisées par plusieurs espèces fauniques. Elles permettent également d'envisager certains réglages à la configuration des équipements afin d'augmenter la qualité des données récoltées dans le futur.

Par exemple, il est prévu que l'intervalle de temps entre chaque déclenchement automatique des caméras soit réduit pendant la période de ponte des tortues. Bien que les tortues se déplacent beaucoup moins rapidement que les mammifères, il serait préférable de réduire cet intervalle de temps à 3 minutes, voire à 1 minute pendant le pic de la ponte, pour maximiser les chances de capturer les individus qui se présenteraient à l'entrée des passages. Dès le printemps 2018, 1 caméra supplémentaire a été installée près de l'entrée ouest du passage aquatique afin de recueillir plus de données et d'augmenter la précision du suivi. Cette caméra supplémentaire permettra, entre autres, de confirmer si chaque animal photographié a effectué une traversée complète de la structure.

Conclusion

L'élément clé ayant permis la réussite de ce projet a certainement été le partenariat établi entre les 2 ministères et Corridor appalachien. La problématique de mortalité routière des tortues, documentée de façon précise et structurée par Corridor appalachien, a permis au MTQ de justifier la prise en compte de cet élément dans sa planification des travaux de réfection des infrastructures routières. L'élaboration concertée du projet et une participation des partenaires à toutes ses étapes (conception, réalisation et surveillance) ont sans contredit joué un rôle très important dans le succès de celui-ci.

Le suivi de l'utilisation des passages par la faune permettra de documenter les répercussions d'un tel aménagement et, si elles sont positives, de justifier des aménagements similaires ailleurs au Québec, sur d'autres tronçons de routes particulièrement accidentogènes pour les tortues.

Remerciements

Corridor appalachien tient à remercier l'ensemble des partenaires qui ont joué un rôle clé dans la réalisation de ce projet, soit : le MTQ, le MFFP et la municipalité de Bolton-Est, de même que le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et Conservation de la nature Canada (CNC). Merci également à nos bailleurs de fonds : la municipalité de Bolton-Est, le gouvernement du Canada, dans le cadre du programme d'intendance de l'habitat pour les espèces en péril, le MFFP, par l'entremise de l'équipe de rétablissement des tortues du Québec, et la Fondation ÉCHO. Un merci spécial à Dave Paulson (Massachusetts Division of Fish and Wildlife) et à tous les stagiaires et bénévoles qui ont contribué à acquérir des connaissances sur le terrain dans le cadre des différentes études réalisées pour ce projet. Finalement, l'auteur tient à remercier les réviseurs pour leurs commentaires constructifs qui ont contribué à rehausser la qualité de cet article. ◀

Références

- BEAUDRY, F., P.G. DEMAYNADIER et M.L. HUNTER Jr, 2008. Identifying road mortality threat at multiple spatial scales for semi-aquatic turtles. *Biological Conservation*, 141 (10) : 2550-2563.
- BECKMAN, J.P., A.P. CLEVINGER, M.P. HUIJSER et J.A. HIFFY, 2010. Safe passages: highways, wildlife and habitat connectivity. Island Press, Washington, 424 p.
- CONGDON, J.D., A.E. DUNHAM et R.C. VAN LOBEN SELS, 1993. Delayed sexual maturity and demographics of Blanding's turtle (*Emydoidea blandingii*): Implications for conservation and management of long lived organisms. *Conservation Biology*, 7 : 826-833.
- CORMIER, C., S. CÔTÉ, M. MERCURE, A. CERRUTI et F. MINELLI, 2012. Cadre méthodologique pour restaurer la connectivité écologique, de la planification à la conservation : étude de cas en Montérégie. *Le Naturaliste canadien*, 136 (2) : 95-107.
- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2007. Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*) au Canada – Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, vii + 47 p. Disponible en ligne à : http://www.sararegistry.gc.ca/document/dspDocument_f.cfm?documentID=1658.
- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2008. Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur la tortue serpentine (*Chelydra serpentina*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, vii + 51 p. Disponible en ligne à : http://www.registrelp-sararegistry.gc.ca/document/default_f.cfm?documentID=1793.
- DESROCHES, J.-F. et D. RODRIGUE, 2004. Amphibiens et reptiles du Québec et des maritimes. Éditions Michel Quintin, Waterloo, 288 p.
- DESROCHES, J.-F. et I. PICARD, 2007. Évaluation de l'incidence des routes sur les populations de tortues en Outaouais, au Québec. Études et recherches en transport, ministère des Transports du Québec, Québec, 135 p. Disponible en ligne à : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0946021.pdf>.
- ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA, 2016. Plan de gestion de la tortue serpentine (*Chelydra serpentina*) au Canada [Proposition]. Série de Plans de gestion de la Loi sur les espèces en péril. Gouvernement du Canada, Ottawa, iv + 39 p. Disponible en ligne à : https://www.registrelp-sararegistry.gc.ca/document/default_f.cfm?documentID=2908.
- ÉQUIPE DE RÉTABLISSMENT DES TORTUES DU QUÉBEC POUR LES ANNÉES 2005 À 2010, 2005. Plan de rétablissement de cinq espèces de tortues au Québec pour les années 2005 à 2010 : la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*), la tortue géographique (*Graptemys geographica*), la tortue mouchetée (*Emydoidea blandingii*), la tortue musquée (*Sternotherus odoratus*) et la tortue ponctuée (*Clemmys guttata*). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 57 p. Disponible en ligne à : https://mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/plan_inter_tortue_2005.pdf.
- ERNST, C.H. et J.E. LOVICH, 2009. Turtles of the United States and Canada. 2^e édition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, 827 p.
- GALOIS, P. et J. BONIN, 1999. Rapport sur la situation de la tortue des bois (*Clemmys insculpta*) au Québec. Société de la Faune et des Parcs du Québec, Direction de la faune et des habitats, Québec, 45 p. Disponible en ligne à : <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/1930033>. [Visité le 2018-02-18].
- GAZETTE OFFICIELLE DU QUÉBEC, 2005. Règlement modifiant le Règlement sur les espèces fauniques menacées ou vulnérables et leurs habitats. (L.R.Q., c. E-12.01, a.10). 137 (7) : 705. Disponible en ligne à : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/E-12.01,%20r.%202>.
- GIBBONS, J.W., D.E. SCOTT, T.J. RYAN, K.A. BUHLMANN, T.D. TUBERVILLE, B.S. METTS, J.L. GREENE, T. MILLS, Y. LEIDEN, S. POPPY et C.T. WINNE, 2000. The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. *Bioscience*, 50 : 653-666.
- GIBBS, J.P. et W.G. SHRIVER, 2002. Estimating the effects of road mortality on turtle populations. *Conservation Biology*, 16 : 1647-1652.
- GRATTON, L., M. LELIÈVRE, C. DAGUET, M.-J. MARTEL, F. HONE, O. PFISTER et F. DAUDELIN, 2011. Conservation et foresterie : Contribuer au maintien des forêts privées du Québec méridional. Rapport du comité de réflexion sur la conciliation entre conservation et foresterie. Corridor appalachien, Lac-Brome, 68 p. Disponible en ligne à : https://afsq.org/wp-content/uploads/2017/07/Rapport_comite_reflexion.pdf.
- HARDING, J.H. et T.J. BLOOMER, 1979. The Wood Turtle, *Clemmys insculpta*... a natural history. *Bulletin of the New York Herpetological Society*, 15 : 9-26.
- JACKSON, S., 2003. Proposed design and considerations for use of amphibian and reptile tunnels in New England. University of Massachusetts, Department of Natural Resources Conservation, Amherst, 4 p. Disponible en ligne à : https://ag.umass.edu/sites/ag.umass.edu/files/pdf-doc-ppt/herp_tunnels.pdf. [Visité le 2018-02-18].
- LAFRENIÈRE, K. et M. SICOTTE, 2013. Identification des sites à potentiel d'amélioration en sécurité routière spécifiques aux tortues, le long de la rivière Missisquoi Nord. Corridor appalachien, Eastman, 40 p.
- [MTQ] MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 2012. Débits de circulation pour les routes de la Montérégie et de l'Estrie, pour l'année 2012. Atlas des transports. Disponible en ligne à : http://transports.atlas.gouv.qc.ca/NavFlash/SWFNavFlash.asp?input=SWFDebitCirculation_2012. [Visité le 2014-02-05].
- OUELLET, M., P. GALOIS, R. PÉREL et C. FORTIN, 2005. Les amphibiens et les reptiles des collines montréalaises : enjeux et conservation. *Le Naturaliste canadien*, 129 (1) : 42-49.
- ROBIDOUX, C., 2009. Identification des sites prioritaires pour la conservation de la tortue des bois - Rivières Missisquoi Nord, Missisquoi et Sutton (Stratégie de conservation). Corridor appalachien, Lac-Brome, 28 p.
- SEBURN, C.L.S. et C.A. BISHOP, 2007. Ecology, conservation, and status of reptiles in Canada. *Society for the Study of Amphibians and Reptiles*, 246 p.
- SIEVERT, P.R. et D.T. YORKS, 2012. Tunnel and fencing options for reducing road mortalities of freshwater turtles (Draft final report N° SPR11.06.22). University of Massachusetts, Department of Natural Resources Conservation, Amherst, 78 p.
- SIROIS, M. et J. VALLIÈRES, 2015. Identification des mortalités routières et validation de l'utilisation d'un banc d'emprunt situé à proximité de la rivière Missisquoi Nord comme site de ponte pour les tortues. Corridor appalachien, Eastman, 38 p. + annexes.
- YORKS, D.T., 2015. Experimental tests of road passage systems for reducing road mortalities of freshwater turtles. Thèse de maîtrise, University of Massachusetts, Amherst, 116 p. Disponible en ligne à : https://scholarworks.umass.edu/masters_theses_2/176/.

Adapter les infrastructures afin de réduire les risques pour les personnes et d'améliorer la connectivité pour les poissons et la faune

Alison A. Bowden et Sara E. Burns

Résumé

Aux États-Unis, 96 % de la population vit dans un comté qui a connu un événement météorologique déclaré catastrophe naturelle par le gouvernement fédéral au cours des dernières années. Le développement dans les zones inondables menace les côtes et les rivières. Cette menace est exacerbée par des ponceaux et autres infrastructures de franchissement de cours d'eau dimensionnés et conçus en fonction de l'utilisation préalable du territoire, souvent dans le seul objectif de diriger l'eau sous les routes. En revanche, les infrastructures naturelles ou inspirées par le fonctionnement de la nature (plaines inondables, passages de cours d'eau qui maintiennent la connectivité aquatique, etc.) peuvent être résilientes aux inondations et acheminer l'eau sous les routes, tout en offrant d'autres avantages, notamment pour la conservation des habitats du poisson et d'autres espèces fauniques. Au Massachusetts, les normes de conception des traverses de cours d'eau ont été changées en mettant l'accent sur une approche multi-objectifs de gestion des risques d'inondation (p. ex. intégrité de l'infrastructure existante, connectivité écologique). Quatre catégories de conditions-clés favorisent l'intégration d'approches basées sur la résilience climatique des milieux naturels : la réglementation; l'assistance technique et le financement; le suivi; et l'engagement communautaire. Nous présentons comment chacune a influencé la conception des passages aquatiques dans tout le Massachusetts.

MOTS-CLÉS : connectivité des habitats, espèces migratrices, inondations, infrastructures de transport, réduction de risques

Abstract

Ninety-six percent of the U.S. population lives in a county that has experienced a federally declared, weather-related disaster in the last several years. A major threat to coasts and rivers is development in flood-prone areas. Road-stream crossing infrastructure sized and designed for past land uses, and often focused on the single objective of directing water under roads, exacerbates this threat. Natural and nature-based infrastructure such as floodplains and road-stream crossings that allow fluvial connectivity can provide flood resilience, and direct water under roads, while also providing multiple additional benefits, including fish and wildlife habitat. This article investigates the statewide stream crossing design standard changes in Massachusetts that emphasize a multi-objective approach (traditional infrastructure integrity and ecological connectivity) to flood risk management. Four key categories of enabling conditions are identified that can help mainstream the use of nature-based approaches to climate resilience: regulations, technical assistance and funding, monitoring, and community engagement. This article investigates how these enabling conditions played out in Massachusetts to influence the statewide design of road-stream crossings.

KEYWORDS: flooding, habitat connectivity, migratory species, risk reduction, transportation infrastructure

Introduction

Les rivières sont des milieux naturellement dynamiques qui engendrent de l'érosion, transportent des sédiments et maintiennent la connectivité avec leurs plaines inondables. Le régime d'écoulement d'un cours d'eau est la « variable maîtresse » (Poff et collab., 1997) indispensable au maintien de l'habitat, du substrat, de la température, de la profondeur et de la vitesse de l'eau, des conditions biologiques et autres dont dépendent les espèces. Les routes ont souvent été construites le long des cours d'eau et elles peuvent croiser plusieurs fois la même rivière sur leur parcours. Les ouvrages de franchissement de cours d'eau trop petits ou mal placés peuvent altérer les processus aquatiques naturels (y compris l'écoulement), fragmenter les habitats aquatiques et riverains, et engendrer des risques économiques et de sécurité pour les populations (MassDER, 2015). Le nord-

est des États-Unis présente la plus forte densité de barrages et de traverses de cours d'eau par les routes au pays, avec une moyenne de 7 barrages (au sein de bassins versants de superficie $\geq 2,6 \text{ km}^2$) et de 106 structures de franchissement de cours d'eau par unité de 160 km de ruisseaux de tête, définis comme appartenant à des bassins versants de 2,6 à 100 km^2 de superficie (Anderson et Olivero Sheldon, 2011). Bien qu'ils soient incomplets, les inventaires d'ouvrages de

Alison A. Bowden est directrice de la conservation des rivières, milieux côtiers et océans pour The Nature Conservancy au Massachusetts, États-Unis.

abowden@tnc.org

Sara E. Burns est une scientifique spécialisée en ressource en eau pour The Nature Conservancy au Massachusetts, États-Unis.

sara.burns@tnc.org

franchissement de cours d'eau montrent que bon nombre de ces traverses représentent des obstacles écologiques (Warren et Pardew, 1998). Au Vermont, seulement 6 % des quelque 1500 ponceaux inventoriés étaient entièrement praticables pour les espèces aquatiques (VFWD, 2010). Nislow et collab. (2011) ont démontré que les sections de cours d'eau situées en amont de ponceaux infranchissables comptaient moins de la moitié du nombre d'espèces de poissons et moins de la moitié de l'abondance totale des poissons, comparativement aux segments de cours d'eau équipés de ponceaux praticables. De plus, de nombreuses espèces de mammifères, de reptiles et d'amphibiens utilisent les cours d'eau et les corridors riverains, y compris les rives ou berges, pour se déplacer (Forman et Alexander, 1998; Yanes et collab., 1995) (figure 1). Dans une étude réalisée au Vermont à partir de données collectées à l'aide de caméras à déclenchement automatique et qui porte sur la fréquence des déplacements de la faune sous les ponts et ponceaux, 573 franchissements de structures par une série de 13 espèces de mammifères ciblés ont été enregistrés aux 23 ponts et ponceaux suivis sous des routes très fréquentées (Marangelo et Farrell, 2016). Les ponts et les ponceaux conçus uniquement en fonction des aspects hydrauliques peuvent empêcher ces déplacements fauniques le long des corridors riverains.

Inondations et changements climatiques

En raison des modes de développement et des changements climatiques, les inondations (côtières, fluviales et pluviales) en Amérique du Nord deviennent de plus en plus fréquentes et coûteuses. Dans une analyse modélisée de la partie continentale contiguë des États-Unis, Wing et collab. (2018) ont constaté que 41 millions d'Américains sont exposés à des crues à récurrence de 100 ans, soit 28 millions de plus que les 13 millions estimés par le programme fédéral responsable de la cartographie des zones inondables. La même étude a révélé que les pertes moyennes découlant des inondations aux États-Unis avoisinent maintenant les 10 milliards \$ US par an. Bien que les projections associées aux changements climatiques soient exclues de l'analyse, l'étude a montré que le nombre d'Américains vivant dans la zone inondable à récurrence de 100 ans pourrait atteindre 120 millions d'ici 2100, et ce, uniquement sur la base des prévisions de développement. Lorsque cette pression de développement projetée est combinée au fait que le nord-est des États-Unis a connu une augmentation de 55 % des pluies intenses et une augmentation de 15 % des précipitations au cours des 50 dernières années (Wuebbles et collab., 2017), l'augmentation du risque d'exposition des personnes et des infrastructures aux inondations devient évidente. Les infrastructures existantes, conçues uniquement en fonction de considérations hydrauliques et de données passées sur l'ampleur et la fréquence des précipitations et des débits de cours d'eau, seront insuffisantes pour gérer l'augmentation des précipitations intenses déjà observée en Nouvelle-Angleterre (Douglas et Fairbank, 2011).



Figure 1. a) Un ours noir (*Ursus americanus*) se déplace sur la rive d'un ruisseau du New Hampshire; b) Un raton laveur (*Procyon lotor*) traverse un ponceau surélevé et sous-dimensionné sous une route du New Hampshire, à l'étiage.

Des solutions basées sur le fonctionnement de la nature

Les investissements fédéraux dans l'atténuation de l'impact des crues et le rétablissement à la suite des inondations ont augmenté régulièrement au cours des dernières décennies (Pew Charitable Trusts, 2018), mais il est peu probable qu'ils puissent suivre le rythme accéléré de cette problématique (Smith, 2018) à moins d'investissements majeurs de la part des États et des instances locales. Cette tendance va forcer les responsables publics et autres décideurs à déterminer comment déployer au mieux leurs ressources limitées pour assurer la résilience physique, sociale et économique à long terme de leurs communautés et de leurs infrastructures.

Les approches basées sur le fonctionnement de la nature pour réduire les risques comprennent un large éventail d'activités, qui prennent en compte le rôle des milieux naturels et utilisent explicitement leurs caractéristiques pour réduire les risques de catastrophes naturelles telles que les inondations, les tempêtes, les feux de forêt et les sécheresses.

Ces approches, souvent appelées « réduction écosystémique des risques de catastrophes » (Éco-RRC), sont définies comme l'ensemble formé par « la gestion durable, la conservation et la restauration des écosystèmes qui visent à réduire les risques de catastrophe dans le but de parvenir à un développement durable et résilient » (Estrella et Saalimaa, 2013). Les approches basées sur le fonctionnement de la nature peuvent donc être des façons plus rentables d'atteindre les objectifs de résilience écologique et sociétale (Narayan et collab., 2017).

De nombreux exemples de pratiques de gestion des rivières basées sur le fonctionnement de la nature sont en développement ou ont déjà été réalisés aux États-Unis et ailleurs dans le monde. Room for the River au Pays-Bas (Ruimte voor de rivier, 2006), l'espace de liberté des rivières au Québec (Biron et collab., 2014), les communautés River Smart de l'Université du Massachusetts (UMass Amherst, 2016) et le Guide de protection des corridors riverains du Vermont (Kline et Dolan, 2008) adoptent tous des approches de planification holistique prenant en compte les principes d'hydrogéomorphologie à l'échelle du paysage. Ils permettent ainsi la formation naturelle des méandres, l'écoulement naturel des eaux, ainsi que la connectivité écologique et une meilleure capacité de stockage des plaines inondables. Ces méthodologies sont instructives et importantes pour la protection et la restauration des écosystèmes aquatiques. Ce type de planification permet notamment de mieux gérer l'intersection des cours d'eau avec le réseau routier, et utilise une conception de ponceaux fondée sur le fonctionnement naturel des cours d'eau et des milieux riverains. Au Massachusetts, cette conception, appelée *River and Stream Continuity* (continuité des ruisseaux et rivières), constitue l'un des éléments de la planification basée sur les écosystèmes explorés dans cet article.

Quatre conditions essentielles ont favorisé l'adoption d'une approche fondée sur le fonctionnement de la nature pour la conception des traverses de cours d'eau au Massachusetts, soit : 1) la réglementation, 2) l'assistance technique et le financement, 3) le suivi, et 4) l'engagement communautaire. Nous explorerons ci-dessous des stratégies visant chacune d'elles.

Études de cas et leçons apprises au Massachusetts et en Nouvelle-Angleterre

Vingt ans d'évolution dans la conception des traverses de cours d'eau

Afin d'optimiser la connectivité aquatique dans la conception d'ouvrages de franchissement des cours d'eau, le Massachusetts a élaboré des lignes directrices sur la continuité des ruisseaux et rivières au début des années 2000, inspirées des bonnes pratiques pour le passage du poisson publiées en 1999 par le Fish and Wildlife Department de Washington (Bates et collab., 2003).

L'approche conceptuelle, appelée « conception par simulation de cours d'eau », reconnaît à la fois que les écosystèmes riverains et leurs plaines inondables dépendent de la variabilité naturelle du débit d'eau et que, du point de vue de la gestion des risques d'inondation, les crues liées aux

orages ou aux périodes naturelles des hautes eaux doivent se rendre quelque part. Le Service forestier des États-Unis a convoqué le Groupe de travail sur la conception par simulation de cours d'eau, qui comprenait un membre du Partenariat pour la continuité des rivières du Massachusetts, afin de rédiger un guide de conception détaillé pour maintenir la connectivité aquatique sous les ponts et dans les ponceaux (SSWG, 2008). Selon cette méthode, l'espace disponible dans le passage devrait : respecter les normes minimales d'ouverture, maintenir la diversité structurelle du lit et celle des matériaux inhérents au système aquatique existant, et intégrer les éléments naturels constituant les rives (tableau 1). Ces standards permettent le déplacement des espèces résidentes et migratrices dans un large éventail de conditions d'écoulement des eaux, mais aussi celui des espèces semi-aquatiques et des espèces terrestres de petite ou de moyenne taille. Une telle conception basée sur une plus grande ouverture et sur l'incorporation des berges naturelles permet de garantir, dans une certaine mesure, que la faune terrestre et la faune semi-aquatique, en particulier les espèces qui utilisent des corridors riverains de connectivité à l'échelle du paysage, puissent utiliser ces passages. Cela peut aussi augmenter la résilience des réseaux de transport aux inondations (Gillespie et collab., 2014).

Les normes et règlements relatifs à l'environnement et à la construction peuvent imposer le respect d'exigences techniques et de conception visant à normaliser les projets d'infrastructures (tels que la création ou la reconstruction de routes) afin que ceux-ci intègrent la restauration des écosystèmes et la réduction des risques d'inondation. Cette intégration d'éléments de conception basés sur le fonctionnement de la nature dans nos réglementations est un moyen d'encourager l'adoption de ces pratiques. Depuis 2005, l'obtention d'un permis général de l'U.S. Army Corps of Engineers pour le Massachusetts exige la conformité à une approche de simulation de cours d'eau pour toute nouvelle traverse de cours d'eau. Le permis général énonce les conditions et les activités autorisées pour plusieurs catégories de travaux. Les normes de franchissement des cours d'eau sont abordées dans les conditions du permis général relatives au dragage et au remblai des milieux humides. Le permis général actuel de l'U.S. Army Corps of Engineers, mis à jour en 2018 (USACE, 2018), exige que tous les ouvrages permanents de franchissement de cours d'eau (nouvelles constructions, remplacement et agrandissement de passages existants sur des cours d'eau non affectés par les marées) soient conçus et construits conformément au manuel de simulation de cours d'eau (SSWG, 2008). Les ouvrages à travée (et donc à fond ouvert) sont explicitement privilégiés.

Le *Massachusetts Wetlands Protection Act* régit les activités permises dans les milieux humides, les ruisseaux, les rivières et les fleuves, ou à proximité de ceux-ci. Les règlements associés (Mass DEP, 2014) exigent généralement une approche de maintien de la connectivité aquatique pour les traverses de cours d'eau, afin de disposer de plus d'espace pour les crues à l'intérieur de ces structures. Depuis

Tableau 1. Résumé des normes générales et optimales de franchissement des cours d'eau pour le Massachusetts (adapté de MARCP, 2011, avec autorisation). L'objectif de ces normes est d'assurer la connectivité aquatique ainsi que le passage des organismes aquatiques et de la faune.

	Normes générales	Normes optimales
Type de structure	Préférence pour structure à fond ouvert	Pont
Enrobage	Dans le cas de ponceaux, enrobage : <ul style="list-style-type: none"> • Minimum de 2 pi (0,61 m) pour tous les ponceaux, • Minimum de 2 pi (0,61 m) et d'au moins 25 % pour les ponceaux de type tuyau circulaire, • Quand le matériau d'enrobage comprend des éléments de diamètre > 15 po. (0,38 m), l'épaisseur d'enrobage devrait être d'au moins 2 fois le D_{84}^* du matériau d'enrobage. 	N/A
Largeur de travée	Au moins 1,2 × largeur au débit de plein bord	Au moins 1,2 × largeur au débit de plein bord
Substrat	Identique au substrat naturel	Identique au substrat naturel
Profondeur et vitesse de l'eau	Identique à la profondeur et à la vitesse naturelle de l'eau pour une variété de débits	Identique à la profondeur et à la vitesse naturelle de l'eau pour une variété de débits
Ouverture et hauteur	<ul style="list-style-type: none"> • Ouverture: 0,82 pi • Hauteur: 0,25 m 	Conditions qui découragent la faune de passer par-dessus la route: <ul style="list-style-type: none"> • Ouverture: 2,46 pi (0,75 m) • Hauteur: 8 pi (2,4 m) Sinon: <ul style="list-style-type: none"> • Ouverture: 1,64 pi (0,5 m) • Hauteur: 6 pi (1,8 m)
Rives	<ul style="list-style-type: none"> • Des 2 côtés du cours d'eau • Identique au profil horizontal du cours d'eau existant et de ses rives • Construites de façon à ne pas empêcher l'utilisation par la faune riveraine 	<ul style="list-style-type: none"> • Des 2 côtés du cours d'eau • Identique au profil horizontal du cours d'eau existant et de ses rives • Construites de façon à ne pas empêcher l'utilisation par la faune riveraine • Dégagement suffisant pour la faune

* D_{84} désigne la largeur des particules au-dessus du 84^e percentile de la distribution (c'est-à-dire la taille des plus grosses roches dans le lit du cours d'eau).

2014, les nouveaux ouvrages doivent être conformes aux normes de franchissement de cours d'eau du Massachusetts (*Massachusetts Stream Crossing Standards*) (MARCP, 2011) qui préconisent la construction d'une travée d'au moins 1,2 fois la largeur au débit de plein bord, et la sélection d'un ouvrage à travée ou d'un ponceau enchâssé dont le dégagement minimal se situe au-dessus du haut de la rive. En ce qui concerne le remplacement des ponceaux, ces structures doivent également être conformes, dans la mesure du possible, aux normes de franchissement de cours d'eau du Massachusetts. Les meilleures options de conception pour y parvenir impliquent de choisir des ponts qui enjambent non seulement le cours d'eau, mais aussi une ou les deux rives de celui-ci, et permettent le passage à pied sec de la faune qui se déplace dans les bandes riveraines. Lorsque la structure se situe dans un secteur où les déplacements de la faune sont nombreux, ou qu'elle représente un obstacle physique à ces déplacements, elle devrait être dimensionnée de façon à permettre le passage de toutes les espèces concernées (hauteur minimale et indice d'ouverture). Des normes optimales sont recommandées pour les structures conçues pour les espèces fauniques terrestres et semi-aquatiques de grande taille (p. ex. la loutre de rivière, *Lontra canadensis*). Elles sont recommandées pour « [...] les zones revêtant une importance particulière à l'échelle de

l'État ou de la région pour leur contribution à la connectivité à l'échelle du paysage [...] » (Massachusetts Climate Adaptation Partnership, 2015). Le ministère des Transports du Massachusetts (MassDOT, 2010) a adopté un manuel de conception qui fournit des conseils sur les mesures de prise en compte de la faune sauvage pour les structures routières de franchissement de cours d'eau.

Assistance technique et financement

Fournir une assistance technique aux communautés et aux promoteurs de projets permet d'optimiser la planification « multi-objectifs », en leur donnant accès à une expertise en conception des projets pour garantir des résultats positifs. Les programmes de financement élaborés de façon à soutenir explicitement la planification et le développement de projets multi-objectifs, y compris la restauration des écosystèmes, ont été essentiels pour inciter les communautés à adopter des approches plus globales de réduction des risques d'inondation. L'approche « multi-objectifs » a l'avantage de rassembler différentes parties prenantes pour développer des projets qui répondent à des besoins multiples, et de mener à des solutions qui augmentent à la fois l'acceptation de la conception des projets et le soutien politique pour ceux-ci. Quant à elles,

les sources de financement à objectif unique encouragent les solutions à objectif unique qui ne répondent pas adéquatement aux besoins de la communauté ou du pays concerné.

La Division de la restauration écologique du Massachusetts gère le Programme de continuité des cours d'eau et fournit une assistance technique aux villes afin de les aider à respecter les normes, en plus d'offrir un programme de subventions aux instances municipales pour les secteurs présentant une grande intégrité écologique et des risques élevés de défaillance d'infrastructures. La phase 1 d'une étude sur les liens critiques couvrant tout l'État (McGarigal et collab., 2012) a ciblé les zones prioritaires pour des remplacements de ponceaux ou des réaménagements afin de permettre le passage des organismes aquatiques. Un outil interactif permet de superposer les 5 %, 10 % et 15 % des traverses présentant le plus grand potentiel de restauration, selon une estimation par modélisation réalisée à l'échelle du paysage (UMASS Amherst, 2017).

Dans le cadre d'un projet pilote précédant l'adoption d'un plan d'évaluation des vulnérabilités climatiques et de mesures d'adaptation à l'échelle de l'État, le ministère des Transports du Massachusetts (MassDOT, 2018) et l'Université du Massachusetts à Amherst ont lancé le projet d'évaluation de la vulnérabilité du bassin hydrographique de Deerfield River¹ afin de déterminer la vulnérabilité aux changements climatiques des structures de franchissement de ce cours d'eau au sein du bassin versant. Cette évaluation tient compte des analyses des risques de défaillance hydraulique et géomorphologique selon les conditions climatiques actuelles et futures, des effets potentiels sur les services d'urgence et des possibilités d'améliorer le passage des organismes aquatiques. L'équipe a créé un outil de priorisation et de décision destiné à la planification et de développement de projets du ministère des Transports. Cet outil facilitera une approche proactive de rénovation des structures vulnérables et fournira des recommandations pour un cadre d'évaluation de la vulnérabilité des structures de transport pouvant être appliqué de manière systématique et rentable au reste de l'État. Les cartes de projection climatique à échelle fine² pour l'ensemble de l'État constituent la première série de livrables complétés (MassDOT, 2017).

En septembre 2016, le gouverneur du Massachusetts, Charlie Baker, a signé le décret exécutif n° 569, obligeant le gouvernement de l'État à fournir une assistance technique aux municipalités pour mener à bien les évaluations sur la vulnérabilité aux changements climatiques et la planification appropriée vers la résilience. L'État fournit un financement communautaire pour compléter ces évaluations de vulnérabilité et élaborer des plans de résilience orientés vers l'action, en utilisant le Cadre de renforcement de la résilience des communautés³. Les communautés certifiées selon le

Programme de préparation aux vulnérabilités municipales (ou MVP, de l'anglais *Municipal Vulnerability Preparedness*) sont admissibles à des subventions et à d'autres avantages. En 2017, le programme a été financé à hauteur de 1 million \$ US et, en 2018, l'autorisation de cautionnement proposée pour le programme était de 50 millions \$ US.

Suivi

Le suivi des résultats des projets multi-objectifs est essentiel pour influencer la conception et les buts des projets futurs. En évaluant les effets des récentes tempêtes, quelques études ont révélé que les ponceaux conçus pour optimiser la connectivité aquatique étaient moins susceptibles d'être endommagés ou nécessitaient moins de réparations. Par exemple, en août 2011, près de 1000 ponceaux du Vermont ont cédé ou ont subi des dommages majeurs à la suite de la tempête tropicale Irène. De nombreuses routes ont été détruites, et 13 communautés ont été complètement isolées (Rose et Ash, 2013). Dans le même ordre d'idées, dans la ville de Hancock, dans l'État de New York, 3 inondations survenues de 1996 à 2005 ont endommagé un ponceau sous-dimensionné sur le ruisseau Big Hollow. Au cours de ces 9 années, le comté du Delaware a dépensé plus de 70 000 \$ US pour réparer les dommages causés à ce ponceau, à la route et aux fossés adjacents (Levine, 2013). En revanche, dans le Massachusetts, au Vermont et dans l'État de New York, des ponceaux rénovés ou remplacés selon l'approche de conception par simulation de cours d'eau pour améliorer la connectivité aquatique (SSWG, 2008) (figure 2), c'est-à-dire des passages conçus pour imiter le lit naturel du cours d'eau et permettre le déplacement des organismes aquatiques, ont tous résisté aux crues extrêmes engendrées par la tempête tropicale Irène et n'ont subi aucun dommage (Gillespie et collab., 2014).

Dans une étude se penchant sur un échantillon de 165 ponceaux situés dans 2 bassins versants de l'ouest de la Nouvelle-Angleterre où les structures ont cédé après le passage de la tempête tropicale Irène en 2011, le rapport entre la largeur des ponceaux et la largeur au débit de plein bord, ainsi qu'un index de capacité de franchissement des structures par les espèces aquatiques ont permis de prédire le risque de défaillance des ponceaux avec un degré de précision significatif (Jospe, 2013). Cette étude a montré qu'un ponceau ayant un rapport (largeur de ponceau/largeur au débit de plein bord) >1 était moins susceptible de céder qu'un autre pour lequel ce rapport est inférieur à 1. Divers facteurs déterminent la largeur de la structure nécessaire pour atteindre les objectifs du projet en fonction des conditions du site. Les différentes réglementations en place exigent un rapport >1,2. Bon nombre des structures existantes ont 50 ans ou plus; elles ont été conçues selon les utilisations antérieures du territoire et les conditions climatiques passées (Sutton-Grier et collab., 2018). Les avantages économiques de la construction de ponceaux adaptés aux poissons et aux risques d'inondations futures comprennent des coûts de réparation à long terme moins élevés ainsi qu'un évitement de coûts associés aux fermetures

1. https://www.mass.gov/info-details/climate-change-resiliency?_ga=2.210759248.490603461.1535242906-1582797150.1450817135#additional-resiliency-projects-underway

2. <http://gis.massdot.state.ma.us/cpws/>

3. <http://gis.massdot.state.ma.us/cpws/cebuiding.com/>



Massachusetts Department of Fish and Game



Figure 2. a) Un ponceau sur le ruisseau Bronson, au Massachusetts, qui n'a pas été conçu pour répondre aux normes optimales de franchissement des cours d'eau. Il représentait une barrière au passage des poissons et a cédé lors d'une forte pluie; b) La structure de remplacement a été conçue à l'aide de la méthode de simulation de cours d'eau: elle présente une grande ouverture par rapport à sa longueur, la largeur du passage est d'au moins 1,2 fois celle de la largeur au débit de plein bord, et le substrat correspond au lit naturel du cours d'eau. Cette structure a résisté aux inondations de la tempête tropicale Irène sans être endommagée.

de routes. En 2005, à Hancock, dans l'État de New York, un ponceau en béton à trois côtés avec fond naturel conçu pour résister à une tempête à récurrence de 100 ans a été installé au coût de 143 000 \$ US. Depuis, cette structure améliorée a résisté à 7 inondations officiellement reconnues par le gouvernement fédéral sans subir de dommage important (Levine, 2013). Les économies découlant de cette résilience sont fort probablement supérieures aux coûts initiaux. Au Wisconsin, Christiansen et collab. (2014) ont constaté que, dans environ la moitié des cas, la rénovation des ponceaux de conception écologique était plus rentable que l'entretien des ponceaux strictement

hydrauliques, et que les coûts initiaux de remplacement étaient rentabilisés par les bénéfices économiques réalisés au cours de la durée de vie de ces structures (durée de vie accrue, entretien réduit et meilleure résilience face aux inondations).

La Division de la restauration écologique du Massachusetts a réalisé une étude de retour sur l'investissement de projets de restauration aquatique qui incluent des améliorations de ponceaux, sans s'y limiter (MassDER, 2015). Les dépenses du projet (ingénierie, construction, approvisionnement et élimination des matériaux, gestion de projet) ont été comparées, en tenant compte du rendement économique, y compris les retombées économiques directes, indirectes et induites (sur la base du rendement pour l'État qui comprend les revenus d'emploi, les revenus de taxes et les demandes d'emploi). L'étude a révélé que pour chaque million de dollars consacré à la restauration aquatique, 12,5 emplois ont été soutenus et 1,75 million \$ US a été économisé.

Engagement des communautés

Un engagement communautaire authentique et efficace est nécessaire pour garantir que les projets en développement répondent aux besoins et aux priorités des citoyens et des autres parties prenantes. En développant des approches qui répondent aux multiples besoins des communautés, les projets sont non seulement mieux acceptés, mais ils sont assortis du soutien politique nécessaire pour obtenir du financement et les voir se réaliser.

Dans le sud-est du Massachusetts, The Nature Conservancy et une agence de planification régionale ont collaboré pour déterminer les principaux sites du réseau de transport où la connectivité aquatique et le bien-être du public étaient affectés par les structures existantes. Ces sites ont été inclus dans le plan de transport régional en tant que priorités pour des travaux d'amélioration (SMMPO, 2012). Dans la même région, le Réseau résilient du bassin versant de la rivière Taunton a été lancé en 2012 grâce à une subvention du Programme de bassins versants de l'Agence américaine de protection de l'environnement. Ce réseau comprend maintenant plus de 20 partenaires actifs et travaille étroitement avec les municipalités et autres acteurs, pour augmenter l'utilisation d'approches basées sur le fonctionnement de la nature afin d'améliorer la résilience climatique, notamment en réalisant des études de terrain sur les structures de franchissement de cours d'eau à travers le bassin versant (Chapman et collab., 2017).

Discussion

Les projets ci-dessus illustrent la façon dont certaines conditions favorables ont pu faciliter l'adoption d'une approche basée sur le fonctionnement de la nature pour la conception des traverses de cours d'eau au Massachusetts. Cette gestion basée sur l'écosystème peut avantageusement réduire les risques d'inondation et améliorer la durabilité des écosystèmes. Pourtant, les approches Éco-RRC ne sont pas systématiquement prises en compte ou intégrées aux efforts de gestion des

risques d'inondation. Nous proposons ici qu'en modélisant des stratégies basées sur le fonctionnement de la nature pour une planification multi-objectifs, plus d'approches basées sur le fonctionnement de la nature puissent être incorporées aux normes et pratiques des projets à l'échelle des États.

Le suivi de projets répondant aux attentes de plusieurs publics peut contribuer à renforcer les efforts de sensibilisation des communautés ainsi qu'à augmenter la probabilité que les réglementations actuelles soient modifiées. Si les grandes catégories de personnes à influencer pour augmenter les chances de succès des approches basées sur le fonctionnement de la nature sont considérées, le suivi des projets peut être adapté afin de mesurer les changements dans les populations de poissons, la diminution des coûts d'entretien, le nombre d'emplois soutenus et les services de résilience fournis. Ces informations peuvent être utilisées dans tous les secteurs clés cités ci-dessus pour influencer les décideurs au sujet des modifications réglementaires, pour guider l'assistance technique et les priorités de financement, et pour engager un dialogue positif avec les parties prenantes en vue de la progression des projets.

Conclusion

Les élus locaux et les décideurs, les compagnies du secteur privé ayant d'importants investissements dans les infrastructures, de même que les agences étatiques et fédérales ont de plus en plus besoin de gérer les effets des inondations. Toutefois, les incitatifs et les règles régissant leurs stratégies varient considérablement. Pour que les solutions naturelles aux inondations et les approches basées sur le fonctionnement de la nature deviennent un outil répandu de réduction des risques d'inondation et contribuent à renforcer la résilience des communautés, il faut développer des structures de gouvernance appropriées. Par ailleurs, les aspects réglementaires, économiques et sociaux qui influencent la prise de décision concernant l'adaptation au climat et la préparation aux inondations doivent être réalignés. En préparant la voie à une adoption généralisée de ces stratégies et idées, on contribuera à atteindre un point de bascule vers leur adoption systématique. Pour atteindre ce point de bascule, il faudra tirer des leçons des résultats des programmes de suivi et les incorporer aux futurs travaux, tout en considérant les sources de motivation clés pour les développeurs, les exécutants et les utilisateurs finaux, et en mettant l'accent sur les activités d'éducation et de sensibilisation. En utilisant des approches basées sur le fonctionnement de la nature et en encourageant la planification à partir d'un cadre multi-objectifs, des projets réussis et rentables de résilience climatique et de réduction de risques peuvent être mis en œuvre pour protéger les poissons, les habitats aquatiques et les processus écologiques.

Remerciements

Merci aux réviseurs anonymes, à Caroline Daguet pour la traduction du texte vers le français et à l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leur contribution à améliorer ce manuscrit. ◀

Références

- ANDERSON, M.G. et A. OLIVERO SHELDON, 2011. Conservation status of fish, wildlife, and natural habitats in the Northeast landscape: implementation of the Northeast monitoring framework. The Nature Conservancy, Eastern Conservation Science, Boston, MA, 289 p.
- BATES, K., R. BARNARD, B. HEINER, P. KLAVAS et P. POWERS, 2003. Design of road culverts for fish passage. Washington Department of Fish and Wildlife, Habitat and Lands Program, Environmental Engineering Division, Olympia, WA. Disponible en ligne à : <https://wdfw.wa.gov/publications/00049/>. [Visité le 2018-08-24].
- BIRON, P.M., T. BUFFIN-BÉLANGER, M. LAROCQUE, G. CHONÉ, C.A. CLOUTIER, M.A. OUELLET, S. DEMERS, T. OLSEN, C. DESJARLAIS et J. EYQUEM, 2014. Freedom space for rivers: a sustainable management approach to enhance river resilience. *Environmental Management*, 54 (5): 1056-1073.
- CHAPMAN, P., E.H. RICCI et C. WISEMAN, 2017. Stream continuity assessment in the Taunton watershed. Disponible en ligne à : https://www.massaudubon.org/content/download/21247/297320/file/Taunton-Stream-Continuity-Report_June-2017.pdf. [Visité le 2018-03-16].
- CHRISTIANSEN, C., A. FILER, M. LANDI, E. O'SHAUGHNESSY, M. PALMER et T. SCHWARTZ, 2014. Cost-benefit analysis of stream-simulation culverts. Disponible en ligne à : <http://www.lafollette.wisc.edu/images/publications/cba/2014-culvert.pdf>. [Visité le 2018-07-06].
- DOUGLAS, E. et C. FAIRBANK, 2011. Is precipitation in New England becoming more extreme? A statistical analysis of extreme rainfall in Massachusetts, New Hampshire, and Maine and updated estimates of the 100-year storm. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16: 203-217.
- ESTRELLA, M. et N. SAALISMAA, 2013. Ecosystem-based disaster risk reduction (Eco-DRR): An overview. Dans: RENAUD, F.G., K. SUDMEIER-RIEUX et M. ESTRELLA (édit.). *The role of ecosystems in disaster risk reduction*. UNU Press, Tokyo, p. 26-54.
- FORMAN, R.T. et L.E. ALEXANDER, 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207-231.
- GILLESPIE, N., A. UNTHANK, L. CAMPBELL, P. ANDERSON, R. GUBERNICK, M. WEINHOLD, D. CENDERELLI, B. AUSTIN, D. MCKINLEY, S. WELLS, J. ROWAN, C. ORVIS, M. HUDY, A. BOWDEN, A. SINGLER, E. FRETZ, J. LEVINE et R. KIRN, 2014. Flood effects on road-stream crossing infrastructure: economic and ecological benefits of stream simulation designs. *Fisheries*, 39: 62-76.
- JOSPE, A.C., 2013. Aquatic barrier prioritization in New England under climate change scenarios using fish habitat quantity, thermal habitat quality, aquatic organism passage, and infrastructure sustainability. Mémoire de maîtrise, University of Massachusetts, Amherst, 85 p. Disponible en ligne à : <https://scholarworks.umass.edu/theses/1129>.
- KLINE, M. et K. DOLAN, 2008. Vermont Agency of Natural Resources river corridor protection guide. Vermont Agency of Natural Resources, River Management Program, 23 p. Disponible en ligne à : http://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/rivers/docs/rv_RiverCorridorProtectionGuide.pdf. [Visité le 2018-07-06].
- LEVINE, J., 2013. An economic analysis of improved road stream crossings. The Nature Conservancy, Keene Valley, New York, 70 p. Disponible en ligne à : <https://www.nature.org/ourinitiatives/regions/northamerica/road-stream-crossing-economic-analysis.pdf>. [Visité le 2018-07-06].
- MARANGELO, P. et L. FARRELL, 2016. Reducing wildlife mortality on roads in Vermont: documenting wildlife movement near bridges and culverts to improve related conservation investments. 95 p. Disponible en ligne à : https://www.researchgate.net/profile/Paul_Marangelo/publication/322580866_Reducing_Wildlife_Mortality_on_Roads_in_Vermont_Documenting_Wildlife_Movement_near_Bridges_and_Culverts_to_Improve_Related_Conservation_Investments/links/5a60e766aca2723281057405/Reducing-Wildlife-Mortality-on-Roads-in-Vermont-Documenting-Wildlife-Movement-near-Bridges-and-Culverts-to-Improve-Related-Conservation-Investments.pdf. [Visité le 2018-07-05].

- [MARCP] MASSACHUSETTS RIVER CONTINUITY PARTNERSHIP, 2011. Massachusetts river and stream crossing standards. 28 p. Disponible en ligne à : http://www.nae.usace.army.mil/Portals/74/docs/regulatory/StreamRiverContinuity/MA_RiverStreamCrossingStandards.pdf. [Visité le 2018-07-06].
- MASSACHUSETTS CLIMATE ADAPTATION PARTNERSHIP, 2015. Massachusetts wildlife climate action tool. Disponible en ligne à : <https://climateactiontool.org/content/maintain-habitat-connectivity-modify-stream-crossings-allow-wildlife-passage>. [Visité le 2018-07-05].
- [MassDEP] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2014. 310 CMR 10.00: Wetlands protection. Disponible en ligne à : <https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/vy/310cmr10a.pdf>. [Visité le 2018-03-16].
- [MassDER] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF FISH & GAME, Division of Ecological Restoration, 2015. Economic benefits from aquatic ecological restoration projects in Massachusetts. Préparé par : Industrial Economics, Incorporated. Disponible en ligne à : <https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/wi/summary-of-der-economic-benefits-studies-all-phases.pdf>. [Visité le 2018-03-16].
- [MassDOT] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2010. Design of bridges and culverts for wildlife passage at freshwater streams. Disponible en ligne à : <http://www.massdot.state.ma.us/Portals/8/docs/environmental/wetlands/WildlifePassagesBridgeDesign122710.pdf>. [Visité le 2018-07-05].
- [MassDOT] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2017. Future projections for a changing climate. Disponible en ligne à : <http://gis.massdot.state.ma.us/cpws/>. [Visité le 2018-03-16].
- [MassDOT] MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2018. Deerfield watershed vulnerability assessment. Disponible en ligne à : <http://www.massdot.state.ma.us/highway/Departments/EnvironmentalServices/EMSSustainabilityUnit/ClimateChangeResiliency/DeerfieldRiverWatershedVulnerabilityAssessment.aspx>. [Visité le 2018-03-16].
- MCGARIGAL, K., B.W. COMPTON, S.D. JACKSON, E. PLUNKETT et E. ENE, 2012. Critical linkages phase 1: assessing connectivity restoration potential for culvert replacement, dam removal and construction of wildlife passage structures in Massachusetts. Disponible en ligne à : <http://www.umasscaps.org/pdf/Critical-Linkages-Phase-1-Report-Final.pdf>. [Visité le 2018-03-16].
- NARAYAN, S., M.W. BECK, P. WILSON, C.J. THOMAS, A. GUERRERO, C.C. SHEPHARD, B.G. REGUERO, G. FRANCO, J.C. INGRAM et D. TRESPALACIOS, 2017. The value of coastal wetlands for flood damage reduction in the Northeastern USA. *Nature: Scientific Reports*, 7: 9463. doi:10.1038/s41598-017-09269-z 12.
- NISLOW, K.H., M. HUDY, B.H. LETCHER et E.P. SMITH, 2011. Variation in local abundance and species richness of stream fishes in relation to dispersal barriers: implications for management and conservation. *Freshwater Biology*, 56: 2135-2144.
- PEW CHARITABLE TRUSTS, 2018. What we don't know about state spending on natural disasters could cost us. Disponible en ligne à : <http://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/reports/2018/06/19/what-we-dont-know-about-state-spending-on-natural-disasters-could-cost-us#0-overview>. [Visité le 2018-03-16].
- POFF, N.L., J.D. ALLAN, M.B. BAIN, J.R. KARR, K.L. PRESTEGAARD, B.D. RICHTER, R.E. SPARKS et J.C. STROMBERG, 1997. The natural flow regime. *BioScience*, 47 (11): 769-784.
- ROSE, B. et K. ASH, 2013. Irene: Reflections on weathering the storm. Irene Recovery Office, State of Vermont. Disponible en ligne à : <http://www.vermontdisasterrecovery.com/sites/www.vermontdisasterrecovery.com/themes/vdr/uploads/pdfs/2013-IRO-final-report.pdf>. [Visité le 2018-03-15].
- RUIJME VOOR DE RIVIER, 2006. Room for the river for a safer and more attractive river landscape. Disponible en ligne à : <https://www.ruimtevoorderivier.nl/about-us/>. [Visité le 2018-07-06].
- SMITH, A.B., 2018. 2017 U.S. billion-dollar weather and climate disasters: a historic year in context. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponible en ligne à : <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/2017-us-billion-dollar-weather-and-climate-disasters-historic-year>. [Visité le 2018-08-02].
- [SMMPO] SOUTHEASTERN MASSACHUSETTS METROPOLITAN PLANNING ORGANIZATION, 2012. Environmental coordination and climate change. Dans : 2012 Regional transportation plan. SMMPO, Taunton, Massachusetts, p. 16-1-16-7. Disponible en ligne à : http://www.srpedd.org/manager/external/ckfinder/userfiles/files/Transportation/Regional%20Transportation%20Plan/full_tplan2012.pdf. [Visité le 2014-01-10].
- [SSWG] STREAM SIMULATION WORKING GROUP, 2008. Stream simulation: an ecological approach to designing road-stream crossings. San Dimas Technological Development Center, San Dimas, California. Disponible en ligne à : https://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/StreamSimulation/hi_res/%20FullDoc.pdf. [Visité le 2018-03-16].
- SUTTON-GRIER, A.E., R.K. GITTMAN, K.K. ARKEMA, R.O. BENNETT, J. BENOIT, S. BLITCH, K.A. BURKS-COPES, A. COLDEN, A. DAUSMAN, B.M. DEANGELIS et A.R. HUGHES, 2018. Investing in natural and nature-based infrastructure: building better along our coasts. *Sustainability*, 10 (2): 523.
- [UMASS Amherst] UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS AMHERST, 2016. RiverSmart Communities. Disponible en ligne à : <https://extension.umass.edu/riversmart/>. [Visité le 2018-07-06].
- [UMASS Amherst] UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS AMHERST, 2017. Massachusetts wildlife climate action tool. Disponible en ligne à : <https://climateactiontool.org/content/maintain-habitat-connectivity-retrofit-or-replace-culverts>. [Visité le 2018-03-16].
- [USACE] UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS NEW ENGLAND DISTRICT, 2018. Department of the Army General Permits for Massachusetts. Disponible en ligne à : <http://www.nae.usace.army.mil/Portals/74/docs/regulatory/StateGeneralPermits/MA/PN-GPFinal-April2018.pdf?ver=2018-05-09-094151-567>. [Visité le 2018-07-06].
- [VFWD] VERMONT FISH AND WILDLIFE DEPARTMENT, 2010. Vermont stream crossing handbook. Disponible en ligne à : <https://vtfishandwildlife.hosted.civillive.com/common/pages/DisplayFile.aspx?itemId=111508>. [Visité le 2018-03-16].
- WARREN Jr., M.L. et M.G. PARDEW, 1998. Road crossings as barriers to small stream fish movement. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127 (4): 637-644.
- WING, O.E., P.D. BATES, A.M. SMITH, C.C. SAMPSON, K.A. JOHNSON, J. FARGIONE et P. MOREFIELD, 2018. Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States. *Environmental Research Letters*, 13 (3): 034023.
- WUEBBLES, D.J., D.W. FAHEY, K.A. HIBBARD, B. DEANGELO, S. DOHERTY, K. HAYHOE, R. HORTON, J.P. KOSSIN, P.C. TAYLOR, A.M. WAPLE et C.P. WEAVER, 2017. Executive summary. Dans : WUEBBLES, D.J., D.W. FAHEY, K.A. HIBBARD, D.J. DOKKEN, B.C. STEWART et T.K. MAYCOCK (édit.). *Climate science special report: Fourth national climate assessment, volume I*. U.S. Global Change Research Program, p. 12-34. doi:10.7930/J0DJ5CTG.
- YANES, M., J.M. VELASCO et F. SUÁREZ. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. *Biological Conservation*, 71(3): 217-222.

L'aménagement multifonctionnel des bassins de rétention en contexte autoroutier : une optimisation des services écologiques

Jérôme Guay et Martin Lafrance

Résumé

Le réaménagement de l'échangeur des autoroutes Félix-Leclerc (A-40) et Laurentienne (A-73) dans la ville de Québec a nécessité la construction de bassins de rétention pour réguler les débits d'eaux pluviales acheminés vers les réseaux de drainage situés en aval du projet. Le plus grand bassin a été aménagé avec une retenue permanente en vue d'optimiser ses fonctions écologiques dans un environnement caractérisé à l'origine par un milieu écologiquement pauvre. Les objectifs de l'aménagement incluaient la lutte contre les espèces exotiques de plantes envahissantes, la création d'habitats floristiques et fauniques ainsi que la requalification paysagère du site et sa capacité d'évoluer sans intervention humaine en consolidant son caractère naturel. Adéquatement conçus, de tels bassins peuvent fournir une gamme de services écologiques de régulation, socioculturels, de production et de support. Ils offrent une solution à l'anthropisation inévitable des écosystèmes dans un contexte d'étalement urbain et de densification de l'occupation du territoire. La valorisation des services écologiques rendus par les bassins aménagés dans le cadre des processus d'autorisation environnementale inciterait les promoteurs à davantage mettre en œuvre cette pratique et permettrait une meilleure intégration des principes de développement durable aux projets d'infrastructures.

MOTS CLÉS : aménagement faunique, bassin de rétention avec retenue permanente, biodiversité, gestion des eaux pluviales, services écologiques

Abstract

The redevelopment of the Félix-Leclerc (A-40) and Laurentienne (A-73) highway interchange in Québec City (Québec, Canada) required the construction of detention and retention basins to regulate the flow of stormwater directed towards drainage systems located downstream of the project. The largest basin was constructed as a retention pond, allowing the permanent presence of water and so an optimization of its ecological functions in an originally ecologically poor environment. The objectives of the development included the control of invasive alien plant species; the creation of habitat for plants and wildlife; the revitalization of the landscape; and the creation of a site that could evolve and mature naturally without human intervention. Properly designed, such basins can provide diverse ecological services, including regulating, provisioning, supporting and socio-cultural services, and, in the context of densification and urban sprawl, they can offer a solution to the inevitable anthropization of surrounding ecosystems. An appreciation by environmental approval and permitting bodies of the value of the environmental services provided by stormwater ponds, would encourage their wider use, and allow a better integration of sustainable development principles into infrastructure projects.

KEYWORDS: biodiversity, ecological services, retention pond, stormwater management, wildlife management

Introduction

En 2017 s'achevait à Québec, le réaménagement de l'échangeur des autoroutes Laurentienne (73) et Félix-Leclerc (40) amorcé en 2014. Positionné stratégiquement sur le réseau de transport québécois, cet échangeur est le plus fréquenté de la région de la Capitale-Nationale, avec un débit journalier moyen annualisé de 210 000 véhicules (ministère des Transports du Québec [MTQ], non publ.). Parmi les travaux majeurs qu'incluait ce chantier d'envergure (reconstruction de ponts d'étagement, traitement architectural, reconfiguration de bretelles d'accès, aménagement d'écrans visuel et antibruit), la construction d'un bassin de rétention des eaux pluviales avec retenue permanente s'est démarquée par son approche innovante d'optimisation des services écologiques.

Contexte

Enjeux de gestion des eaux pluviales

L'échangeur des autoroutes 40 et 73 s'étend sur près de 40 hectares dans une trame urbaine dense vouée à poursuivre et consolider son développement au cours des prochaines années (Ville de Québec, 2017). Il partage son bassin versant avec de vastes terrains à prédominance commerciale. La réduction du couvert végétal et l'imperméabilisation des sols causées par le développement de ces infrastructures

Jérôme Guay et Martin Lafrance sont biologistes à la Direction générale de la Capitale-Nationale (DGCNAT) du ministère des Transports du Québec (MTQ).

jerome.guay@transports.gouv.qc.ca



Figure 1. État des lieux de l'échangeur des autoroutes 40 et 73 situé dans la ville de Québec avant le réaménagement débuté en 2014. Malgré sa grande superficie, le site n'abrite aucun milieu naturel d'intérêt. Zone hachurée (en blanc, tout à gauche): secteur colonisé par le roseau commun.

entraînent une diminution des processus d'évapotranspiration et d'infiltration des eaux de pluie. Ce phénomène accroît les taux de ruissellement et provoque la hausse des débits dans les réseaux de drainage et dans les cours d'eau récepteurs où sont susceptibles de croître les risques de débordement, d'érosion et de contamination (Gouvernement du Québec, 2012).

Les études préparatoires du réaménagement de l'échangeur des autoroutes 40 et 73 ont démontré l'incapacité des réseaux de drainage en aval du site à recevoir des débits additionnels. Trois bassins de rétention des eaux pluviales ont dû être ajoutés au projet afin d'assurer un contrôle quantitatif des eaux transitant par l'échangeur avant qu'elles soient évacuées dans les réseaux récepteurs. Ces bassins accumulent et entreposent temporairement les eaux pluviales, puis les restituent graduellement à quantité et à vitesse contrôlées (traitement quantitatif). Ils atténuent la hausse des débits attribuables à l'imperméabilisation de nouvelles surfaces et contribuent à diminuer les risques de surcharge des réseaux récepteurs (GENIVAR, 2012).

Le choix du type de bassin de rétention est habituellement guidé par des objectifs hydrauliques ainsi que par des considérations réglementaires déterminées par la sensibilité du milieu naturel aux polluants transportés par les eaux de drainage. Lorsque cette sensibilité n'est pas

jugée préoccupante, un bassin de rétention sans retenue permanente, ou « bassin sec », répond souvent aux critères minimaux de contrôle quantitatif et qualitatif définis par les normes environnementales provinciales. Alors qu'un bassin de rétention avec retenue permanente contient un volume d'eau constant et permet un meilleur traitement qualitatif (retrait de polluants), un bassin sec relâche complètement les eaux de pluie accumulées et son potentiel de traitement qualitatif est, par conséquent, plus faible (Gouvernement du Québec, 2012). Dans l'échangeur des autoroutes 40 et 73, la construction de trois bassins secs aurait suffi au respect des normes liées à la sensibilité du milieu récepteur.

Le milieu récepteur

Avant le réaménagement, près de 65 % (24 hectares) de la surface de l'échangeur était constitué de dépendances vertes essentiellement composées de fossés de drainage et de friches herbacées (figure 1). Aucun cours d'eau, bande riveraine ou milieu humide n'occupait le site, à l'exception de vestiges d'un bassin sec devenu avec le temps un marais de piètre qualité colonisé par le roseau commun (*Phragmites australis*), une espèce exotique envahissante (SNC-Lavalin, 2014).

Malgré leurs vastes superficies, les boucles d'échangeur urbain présentent des environnements souvent hostiles

fournissant peu d'habitats capables d'accueillir une communauté faunique et végétale qui participe à la biodiversité urbaine. En plus d'offrir des paysages homogènes sans grand intérêt visuel, elles n'abritent pas la flore arbustive et arborescente compétitrice nécessaire pour limiter la progression des espèces végétales exotiques et envahissantes.

L'occasion d'améliorer et de valoriser un tel contexte environnemental en y attribuant de nouvelles fonctions écologiques a guidé le choix de l'équipe de conception vers un ouvrage à retenue d'eau permanente pour le plus grand des trois bassins à aménager, plutôt que vers un bassin sec ne répondant qu'aux exigences réglementaires minimales.

Concepts d'aménagements

Diversité faunique et floristique

La retenue permanente rend possible la création d'habitats pour des espèces fauniques qui complètent une partie de leur cycle vital en milieu riverain ou aquatique (Céréghino et collab., 2014). Plusieurs principes d'aménagement ont été appliqués par les concepteurs pour maximiser le potentiel d'occupation par la sauvagine, un groupe faunique pouvant aisément tirer profit d'une étendue d'eau permanente et dont la production est valorisée pour les activités récréatives et cynégétiques.

La forme sinueuse et irrégulière du périmètre combinée à l'ajout de trois îlots permet de maximiser l'étendue de la bande riveraine et d'offrir une superficie d'habitats qui optimise la densité d'occupation faunique et végétale par rapport à des berges linéaires (figure 2). Les pentes variables, les zones d'eau libre et les fluctuations du niveau d'eau génèrent des conditions hétérogènes qui favorisent la diversité des habitats floristiques et améliorent la capacité de l'aménagement à répondre aux besoins divers de la faune aviaire : sécurité, alimentation, reproduction (CIC, 2013). Les îlots, exondés en permanence, offrent un refuge contre la prédation et constituent des sites de nidification privilégiés dans l'étang. Des amas de pierres

et des troncs d'arbres renversés fournissent des aires de repos sécuritaires, une visibilité idéale sur les environs et une source de chaleur prisée par les canards.

Une dizaine de perchoirs en chicots de hêtre américain (*Fagus grandifolia*) ont été érigés dans les zones inondées (figure 3). Ces arbres morts enrichissent et complexifient l'habitat faunique en fournissant une source d'alimentation (invertébrés, champignons, etc.), une aire de repos, des cavités pour la nidification de certaines espèces aviaires et un observatoire privilégié pour les oiseaux de proie.

Parmi les espèces végétales implantées, plusieurs ont été sélectionnées en fonction de leur intérêt pour l'alimentation de la sauvagine. La viorne trilobée (*Viburnum trilobum*) et les érables argentés (*Acer saccharinum*), dont les fruits et les samares sont appréciés des canards et autres espèces aviaires, ont été privilégiés sur les îlots. Le riz sauvage (*Zizania palustris*), une espèce d'eaux dormantes, a également été semencé pour contribuer à la diversification de l'offre alimentaire du bassin pour les oiseaux aquatiques.

Lutte contre les espèces exotiques envahissantes

Les conditions hydrauliques des bassins de rétention autoroutiers peuvent offrir un habitat favorable au roseau commun qui tolère bien les inondations temporaires et les sels de déglçage (EPA, 2009). Leur connectivité hydrologique à des fossés déjà colonisés par cette espèce envahissante accentue le risque de prolifération à l'intérieur des aménagements. De nombreux ouvrages de rétention construits auparavant près de l'échangeur des autoroutes 40 et 73 sont aujourd'hui fortement envahis par le roseau (MTQ, non publ.). L'aménagement du nouveau bassin devait prévoir des mesures pour limiter le potentiel d'envahissement.

Les rhizomes de roseau commun supportent mal la présence constante ou prolongée de niveaux d'eau d'une profondeur de plus d'un mètre (Gucker, 2008). Le niveau d'eau permanent du bassin a donc été fixé à un minimum de 1,5 m sur l'ensemble de la superficie. Cette mesure permet de contrer à long terme l'envahissement en compensant, par une profondeur augmentée, l'aggradation du fond due à l'accumulation progressive de sédiments.

Un envahissement par le roseau commun accentuerait les besoins d'entretien des bassins. Dans les secteurs envahis, ses tiges persistantes forment au sol une litière épaisse de plusieurs centimètres lente à se décomposer (Lavoie, 2008). Cette matière organique doit être enlevée régulièrement pour que le volume utile de l'ouvrage soit préservé et que l'intégrité de ses fonctions hydrauliques soit protégée (EPA, 2009). En prévenant l'établissement du roseau commun sur les superficies inondées, une retenue permanente réduit la fréquence et la superficie des entretiens. Elle contribue à limiter les coûts associés aux opérations de même qu'à la gestion des importants volumes de déblais contaminés par les tiges et les rhizomes devant être éliminés à grands frais dans les lieux d'enfouissement spécialisés.

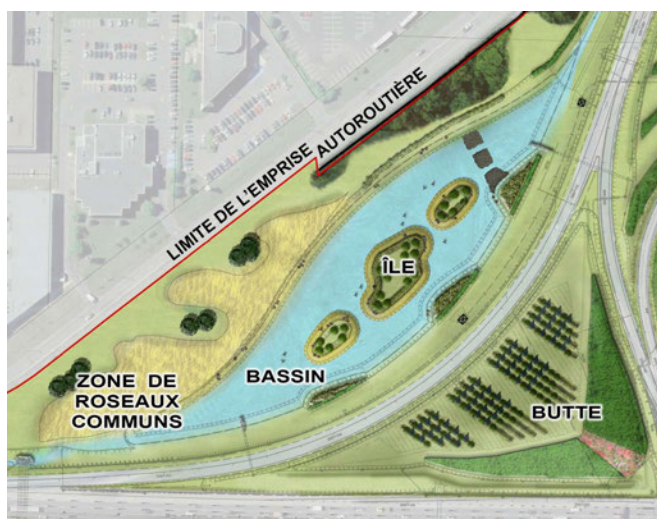


Figure 2. Positions des îlots et sinuosité des berges du bassin de rétention de l'échangeur des autoroutes 40 et 73 situé dans la ville de Québec. Extrait du plan d'aménagement.



Figure 3. Au premier plan : cellule de prédécantation située en amont du bassin de rétention de l'échangeur des autoroutes 40 et 73 situé dans la ville de Québec. Au second plan : vue d'ensemble du bassin de rétention.

La pression d'envahissement par la végétation demeure néanmoins présente sur la périphérie exondée et les secteurs peu profonds du bassin. Des espèces aquatiques (p. ex. : *Pontederia cordata*, *Sagittaria latifolia*) et riveraines (p. ex. : *Alnus incana* ssp. *rugosa*, *Cornus stolonifera*) qui occupent les habitats recherchés par le roseau ont été implantées pour former un cortège floristique compétitif dans ces zones vulnérables. Des espèces terrestres choisies en fonction de leur résistance aux embruns salins (p. ex. : *Rhus typhina*, *Alnus viridis* ssp. *crispa*) contribuent elles aussi à limiter l'espace disponible pour le roseau. Ces plantations ont été conçues pour évoluer de façon naturelle sans intervention particulière au-delà de la période d'entretien prévue au contrat de construction.

Pérennité et autonomie des aménagements

Les aménagements fauniques et floristiques ont été conçus pour évoluer librement vers l'acquisition de caractéristiques biophysiques et écosystémiques proches de celles des systèmes naturels. Pour assurer leur pérennité et leur intégrité, les interventions humaines réalisées dans le bassin ou sur ses rives doivent être réduites au minimum. Or, les sédiments provenant des fossés de drainage se déposent dans le bassin lorsque l'eau qui les transporte y pénètre et se diffuse. Des opérations de dragage des particules décantées, particulièrement à l'amont du bassin, sont nécessaires pour éviter son ensablement progressif et conserver son efficacité à long terme (EPA, 2009; Gouvernement du Québec, 2012).

Ces travaux requièrent des machineries lourdes pour lesquelles l'accès aux secteurs ennoyés risque de nécessiter l'enlèvement de la végétation des berges et de provoquer la compaction des sols dans les zones aménagées.

Une cellule de prétraitement des matières en suspension a été construite en amont de l'ouvrage pour prévenir l'impact de ces activités sur le lit et les rives aménagées (figure 3). En concentrant la sédimentation à l'extérieur du bassin principal, le prétraitement rassemble les opérations de retrait des débris et des matières décantées par la machinerie lourde dans un secteur prédéterminé. Il préserve ainsi la bande riveraine et simplifie l'entretien, en plus de réduire les coûts afférents.

Modeler le paysage autoroutier

Le bassin étant vu quotidiennement par les quelque 20 000 automobilistes qui empruntent la bretelle attenante (MTQ, non publ.), sa dimension et le caractère naturel qui se dégage de ses formes et de sa flore en font un objet remarquable du paysage de l'échangeur des autoroutes 40 et 73. Des éléments inhabituels en milieu urbain, comme les chicots de hêtre érigés à même une vaste étendue d'eau libre, participent à sa signature visuelle. Ils rappellent les arbres morts qui peuplent typiquement les marais et les marécages forestiers parfois créés par des perturbations du drainage naturel.

L'excavation d'un bassin de rétention génère une grande quantité de déblais. La disposition de ces sols excédentaires à l'extérieur du chantier peut engendrer des impacts écologiques significatifs – transport lourd et production de gaz à effets de

serre, empreinte des aires de rebut sur les milieux naturels – de même que des coûts majeurs d'évacuation et d'élimination. Dans une perspective d'amélioration du bilan environnemental du projet, les matériaux ont été valorisés à l'intérieur même des limites de l'échangeur. Ils ont été modelés en buttes et en monticules, à titre d'écran visuel ou antibruit, ou dans un objectif esthétique cohérent afin d'enrichir un espace autrefois plat, dénudé et visuellement pauvre. Des massifs arborescents et arbustifs plantés en séquence complètent l'aménagement des nouveaux talus.

L'aspect général du paysage est appelé à évoluer librement. Il ne sera pas sujet à des perturbations récurrentes étant donné l'entretien minimal requis. Avec le temps, la croissance des végétaux arbustifs et arborescents sur les berges du bassin, sur les îlots centraux de même que sur les monticules accentuera le volume et la verticalité du site. Ces nouveaux éléments topographiques et floristiques du paysage contribuent à la sécurité des usagers de la route en favorisant la lisibilité du parcours par les automobilistes et en orientant les déplacements (Dumont et collab., 2016).

Résultats et discussion

Observations et inventaires

De mai 2016 à juin 2017, 51 visites d'inventaire ont été réalisées sur le site par des membres du Club des ornithologues de Québec (COQ). Ces observations ont permis de recenser 63 espèces aviaires dans l'environnement immédiat du bassin. Des activités de nidification ont été confirmées pour 7 d'entre elles (p. ex. : *Branta canadensis*, *Anas platyrhynchos*, *Actitis macularia*), et 8 ont été observées utilisant les chicots (G. Cyr, COQ, comm. pers.). Certaines espèces charismatiques ont aussi pu être aperçues par les usagers de la route, notamment le harfang des neiges (*Bubo scandiacus*), le grand héron (*Ardea herodias*) et le cormoran à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) (figure 4).

Potentiel écologique des bassins de rétention

Le développement et l'étalement des infrastructures urbaines érodent les espaces naturels intra- et périurbains (Hassal, 2014). Avec leur disparition progressive s'amenuisent les services écologiques rendus par les écosystèmes (Limoges, 2009; MDDELCC, 2018). La construction de bassins de rétention aménagés expressément pour produire de tels services, comme celui de l'échangeur entre les autoroutes 40 et 73, peut contribuer à atténuer ces pertes de services écologiques.

Ces derniers sont les bénéfices retirés des fonctions des écosystèmes par la population humaine (De Groot et collab., 2002). Les services de régulation (modération ou régulation des phénomènes naturels), d'approvisionnement (production de biens tangibles), de support (maintien des conditions de base au développement de la vie) et socioculturels (production de biens intangibles, récréatifs, éducatifs ou esthétiques) sont parmi les plus cités (Limoges, 2009; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; MDDEP, 2012). Les services de régulation,



Figure 4. Exemple d'espèces aviaires observées dans le bassin de l'échangeur des autoroutes 40 et 73 situé dans la ville de Québec; A) harfang des neiges (*Bubo scandiacus*) perché sur un chicot; b) grand héron (*Ardea herodias*); c) cormoran à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) perché sur un chicot.

par exemple, incluent la capacité des écosystèmes (milieux humides et bandes riveraines, notamment) à réduire l'intensité des crues et à atténuer les risques d'inondation (Gagnon et Gangbazo, 2007; Gouvernement du Québec, 2012). Les bassins de rétention sont conçus pour offrir ces services spécifiques dans les environnements imperméabilisés où les milieux naturels qui les prodiguaient sont disparus ou insuffisants. Alors qu'ils sont optimisés dans une approche de génie civil pour la régulation des débits, les bassins de rétention possèdent un potentiel de services écologiques beaucoup plus large (Moore et Hunt, 2012).

Après le contrôle quantitatif des débits, le contrôle de la qualité de l'eau est le service de régulation le plus valorisé dans la conception d'ouvrages de gestion d'eaux pluviales. Au Québec, un contrôle qualitatif plus performant est exigé lorsque le milieu naturel récepteur est jugé sensible aux sédiments, aux métaux lourds, aux nutriments ou à d'autres polluants (MDDELCC, 2016). Le traitement de la qualité montre de bons résultats lorsque sont combinés la retenue permanente et les marais artificiels (Gouvernement du Québec, 2012). Ils favorisent la filtration, la décantation des matières en suspension et les processus microbiologiques d'absorption des phosphates et des nitrates, des fonctions d'assainissement à l'œuvre dans les milieux humides (MDDEP, 2012). Les sédiments présents dans les eaux de ruissellement sont captés dans l'ouvrage, ce qui limite le colmatage des réseaux d'égouts en aval et aide au contrôle des coûts d'entretien récurrents des infrastructures de drainage. Les milieux humides et les étangs aménagés pour la gestion des eaux pluviales contribuent également aux services de régulation du climat en participant à la séquestration du carbone lorsqu'une végétation émergente est bien représentée (Moore et Hunt, 2012).

Les bassins et les étangs urbains fournissent aussi des services reliés à la biodiversité (European Commission, 2015; Hassal, 2014). Rapidement après leur mise en service, les bassins à retenue permanente sont colonisés par une communauté de macro-invertébrés diversifiée qui fonde une nouvelle chaîne trophique locale. La végétation aménagée ou naturelle procure nourriture, abris et aire de reproduction pour une grande variété d'espèces animales qui complètent

une partie de leur cycle vital dans les habitats riverains ou aquatiques (Jackson et Boutle, 2008). Ces fonctions d'habitat forment la base des services de production faunique. Les inventaires ornithologiques du bassin de l'échangeur des autoroutes 40 et 73 démontrent que des aménagements ciblés peuvent rapidement soutenir une production de sauvagine, et ce, malgré la proximité de l'environnement autoroutier. Des activités de nidification ont été observées au pourtour du bassin chez le canard colvert (*Anas platyrhynchos*) et la bernache du Canada (*Branta canadensis*) dès le printemps 2017 (G. Cyr, COQ, comm. pers.).

Par leurs structures complexes et diverses, souvent de grande superficie, les bassins s'intègrent à un réseau de pas japonais (*stepping stones*) reliant des habitats qui se raréfient dans des secteurs anthropiques (Céréghino et collab., 2014; Hassal, 2014; Moore et Hunt, 2012). Ils soutiennent ainsi la migration et les flux génétiques des populations animales et végétales des villes.

La présence faunique souvent visible par les automobilistes et les riverains sur les chicots ou dans l'étang, de concert avec les qualités paysagères de l'aménagement, enrichit l'expérience des usagers de la route. Cette appréciation esthétique relève d'un service écologique culturel intangible, mais instantanément vécu par les observateurs. La beauté des sites qui revêtent un caractère naturel est généralement recherchée, comme en témoigne son influence positive sur la valeur des évaluations foncières (De Groot et collab., 2002; European Commission, 2015; Moore et Hunt, 2012).

Conclusion

Soumis à d'importantes pressions, les lacs, les rivières et les milieux humides ne composent plus que 3 % du grand bassin versant de la rivière Saint-Charles, le plus densément peuplé du Québec (Cochand, 2014; Gerardin et collab., 2000). Dans de tels contextes, les rares friches urbaines non constructibles, comme celles qu'abritent certaines emprises routières ou certains corridors de transport d'énergie, offrent un potentiel inexploité d'aménagement d'infrastructures vertes adaptées aux besoins des villes. Cette occasion a été saisie par l'équipe multidisciplinaire responsable du réaménagement de l'échangeur des autoroutes 40 et 73. Là où ne subsistait qu'une prairie sèche sans grande valeur écologique, l'aménagement optimisé du plus grand bassin de rétention ennoyé de la région de la Capitale-Nationale a permis de créer de nouveaux services écologiques socioculturels, de régulation, de biodiversité et d'approvisionnement au cœur d'un bassin versant soumis à un développement urbain continu.

Certes, ces services écologiques sont en partie contraints par un environnement fortement anthropisé, source de contaminants, colonisé par des espèces exotiques envahissantes et parsemé d'habitats fragmentés. Néanmoins, ces services sont réels et le contexte anthropique dénué de milieux naturels qui les encadre rend leurs fonctions d'autant plus pertinentes et contributives.

Les avantages indéniables que présente l'optimisation du potentiel écologique des bassins de rétention impliquent

néanmoins des coûts de conception et de réalisation supplémentaires pour la mise en place d'installations fauniques et floristiques, pour les aménagements paysagers et pour les opérations de terrassement. Malgré les montants modérés que représentent ces dépenses (à titre d'exemple, les plantes aquatiques, les amas de pierres et les chicots de hêtre dans le bassin de l'échangeur entre les autoroutes 40 et 73 ont nécessité moins de 0,02 % du budget total du projet de réaménagement), des incitatifs concrets sont indispensables pour stimuler cette pratique. Sans un retour sur les investissements, les aménagements multifonctionnels risquent de demeurer marginaux. L'intégration de la notion de services écologiques à l'analyse environnementale des projets d'infrastructures pourrait contribuer à résoudre ce problème.

Au Québec, lorsque les projets détériorent les milieux humides ou hydriques, des contributions financières proportionnelles aux superficies touchées sont exigées sur la base de la valeur foncière, de la rareté et de l'intégrité des écosystèmes en question. Le montant compensatoire est alors généralement dévolu à l'aménagement ou à la restauration de milieux humides ou hydriques qui entraîneront des bénéfices ailleurs qu'au site même où ces habitats ont été perdus ou dégradés. Bien qu'il puisse contribuer efficacement à la protection des écosystèmes, ce modèle pourrait être avantageusement complété par une approche qui reconnaît, à titre de mesure d'atténuation ou compensatoire, la création ou le maintien de services écologiques à même le site des pertes. La valorisation de ces aménagements inciterait les maîtres d'œuvre à intégrer au processus de conception des mesures innovatrices visant la recherche d'un bilan positif de services écologiques. Elle stimulerait le développement des infrastructures vertes, encouragerait le renforcement de leur valeur environnementale et aiderait à maintenir au sein de la trame urbaine des services écologiques souvent menacés par son étalement et sa densification.

Le succès du bassin de l'échangeur entre les autoroutes 40 et 73 et les connaissances issues de réussites similaires permettent désormais d'adopter un regard plus éclairé sur les services écologiques prodigués par les ouvrages de gestion d'eaux pluviales optimisés. Les promoteurs et les concepteurs, de concert avec les scientifiques et les autorités environnementales, doivent néanmoins poursuivre leur collaboration dans l'objectif d'en encourager l'intégration aux infrastructures. La conception du bassin de l'échangeur entre les autoroutes 40 et 73 témoigne qu'une approche multidisciplinaire qui complète et bonifie les pratiques d'ingénierie permet non seulement de limiter les impacts écologiques des infrastructures, mais également d'associer plus efficacement les principes de développement durable à leur amélioration et leur croissance.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Daniel Trottier, Éric Alain, Jean-François Doyon, Yves Bédard et Francis Gauvin pour leur participation à la réalisation du bassin, Gérard Cyr et

Norbert Lacroix du Club des ornithologues de Québec pour le partage de données d'inventaire ornithologique, de même que les évaluateurs scientifiques et l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leur contribution à la qualité de cet article. ◀

Références

- [CIC] CANARDS ILLIMITÉS CANADA, 2013. L'étang. Un milieu à conserver et à aménager. Disponible en ligne à : <http://www.canards.ca/assets/2013/01/Etang.pdf>. [Visité le 2018-03-06].
- CÉRÉGHINO, R., D. BOIX, H.-M. CAUCHIE, K. MARTENS et B. OERTELI, 2014. The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia*, 723 : 1-6.
- COCHAND, F., 2014. Impacts des changements climatiques et du développement urbain sur les ressources en eau du bassin versant de la rivière Saint-Charles. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 213 p. Disponible en ligne à : <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/25465>.
- DE GROOT, R.S., M.A. WILSON et R.M.J. BOUMANS, 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41 (3): 393-408.
- DUMONT, E., P. CHARBONNIER, L. PATTE et R. BREMOND, 2016. Visibilité et lisibilité pour une plus grande sécurité. *Revue Générale des Routes et de l'Aménagement*, 2016 : 46-50.
- [EPA] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009. Stormwater wet pond and wetland management guidebook (EPA 833-B-09-001). Disponible en ligne à : <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/pondmgmtguide.pdf>. [Visité le 2018-03-07].
- EUROPEAN COMMISSION, 2015. Natural Water Retention Measures, Individual NWRM, Retention ponds. Disponible en ligne à : http://nwrw.eu/sites/default/files/nwrw_ressources/u11_-_retention_ponds.pdf. [Visité le 2018-03-08].
- GAGNON, É. et G. GANGBAZO, 2007. Gestion intégrée de l'eau par bassin versant, Fiche numéro 7, Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspective. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/fiches/bandes-riv.pdf>. [Visité le 2018-03-07].
- GENIVAR, 2012. Étude du réseau pluvial existant, état ultime et solutions, Autoroute Laurentienne, Secteur Québec Centre-Ville, Rapport préliminaire (n° GENIVAR : Q115124-6000), 63 p.
- GERARDIN, V., Y. LACHANCE, F. MORNEAU et J. ROBERGE, 2000. Milieux humides et hydrosystèmes du bassin versant de la rivière Saint-Charles : de la nature à la ville, guide d'excursion. Événement du millénaire sur les terres humides, Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, Québec, le 9 août 2000, 34 pages. Disponible en ligne à : <http://www.obvcapitale.org/pdf/Guide%20excursion%20VG%20Morneau%20et%20Roberge.PDF>. [Visité le 2018-03-06].
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2012. Guide de gestion des eaux pluviales, Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide.htm>. [Visité le 2018-03-07].
- GUCKER, C.L., 2008. *Phragmites australis*. Fire Effects Information System, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory. Disponible en ligne à : <http://www.fs.fed.us/database/feis/>. [Visité le 2018-03-06].
- HASSAL, C., 2014. The ecology and biodiversity of urban ponds. *WIREs Water*, 1 : 187-206. doi:10.1002/wat2.1014.
- JACKSON, J.L. et R. BOUTLE, 2008. Ecological functions within a sustainable urban drainage system. Article présenté à : 11th International Conference on Urban Drainage (11 ICUD), Édimbourg, 31 août - 5 septembre 2008, (non publié). Disponible en ligne à : https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th_International_Conference_on_Urban_Drainage_CD/ICUD08/pdfs/309.pdf.
- LAVOIE, C., 2008. Le roseau commun (*Phragmites australis*) : une menace pour les milieux humides du Québec ? Rapport préparé pour le Comité interministériel du Gouvernement du Québec sur le roseau commun et pour Canards Illimités Canada. Disponible en ligne à : https://www.phragmites.crad.ulaval.ca/files/phragmites/PHRAGMITES_Rapport_QCCANILL_2008.pdf. [Visité le 2018-03-11].
- LIMOGES, B., 2009. Biodiversité, services écologiques et bien-être humain. *Le Naturaliste canadien*, 133 (2) : 15-19.
- [MDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2016. Fiche d'information – Gestion des eaux pluviales, Exigences relatives à la gestion des eaux pluviales. Disponible en ligne à : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/fiches/Section02_legal_01_exigences.pdf. [Visité le 2018-03-11].
- [MDELCC] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2018. Rapport sur l'état de l'eau et des écosystèmes du Québec. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/rapportsurleau/index.htm>. [Visité le 2018-03-12].
- [MDDEP] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, 2012. Les milieux humides et l'autorisation environnementale. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/milieux-humides-autorisations-env.pdf>. [Visité le 2018-03-11].
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. *Ecosystems and human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington D.C. Disponible en ligne à : <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. [Visité le 2018-07-11].
- MOORE, T.L.C. et W. HUNT, 2012. Ecosystem service provision by stormwater wetlands and ponds – A means for evaluation? *Water Research*, 46 (2012) : 6811-6823. doi:10.1016/j.watres.2011.11.026.
- SNC-LAVALIN, 2014. Rapport final, Gestion des eaux pluviales dans le cadre du réaménagement de l'échangeur Félix-Leclerc/Laurentienne, Étude écologique, identification délimitation et caractérisation des milieux humides et hydriques (Rapport F01, Projet n° 615397), 20 p.
- Ville de Québec, 2017. Schéma d'aménagement et de développement / Révisé, Agglomération de Québec, Second projet, Volume 1. Disponible en ligne à : https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/planification-orientations/amenagement_urbain/sad/docs/SAD-04-2017.pdf. [Visité le 2018-03-08].

Les corridors écologiques : un moyen d'adaptation aux changements climatiques

Kateri Monticone

Résumé

Sous les effets des changements climatiques (CC), il est démontré que les niches écologiques des espèces se déplaceront vers le nord au rythme de 45 km par décennie. À l'échelle continentale, la position géographique du Québec est déterminante dans l'adaptation aux CC. Afin d'atténuer les impacts des CC et favoriser l'adaptation des espèces, le maintien de corridors écologiques est jugé crucial. Les aires protégées et les habitats naturels devront être mieux connectés par des corridors axés sud-nord essentiels à la migration des espèces. Conservation de la nature Canada (CNC) travaille déjà à protéger des sites naturels de grande valeur écologique à l'échelle du pays; certains s'avèrent critiques au maintien de la connectivité écologique. Dans cette perspective, CNC propose, au Québec, une approche intégrée en partenariat avec les acteurs de la conservation dont les activités de sciences, de protection, d'aménagement du territoire, d'engagement des collectivités et d'adaptation des infrastructures routières permettent de consolider les efforts de conservation dans un contexte de CC. D'ici avril 2020, des plans d'intervention visant une concertation accrue entre les différents acteurs seront mis en place avec les partenaires locaux dans cinq zones critiques pour le maintien de la connectivité au Québec.

MOTS-CLÉS : adaptation, connectivité, changements climatiques, corridors écologiques, partenariat

Abstract

Current research on climate change (CC) suggests that the ecological niches of wild species in Québec (Canada) will shift northwards at the rate of about 45 km per decade. In light of this, maintaining wide natural corridors at the continental level will be critical to facilitating wildlife as it attempts to adjust. Because of its geographical position, Québec will play a crucial role in easing the northward migration of species, but to assist this, protected areas and natural habitats within the province will need to be further connected through north-south orientated corridors. The Nature Conservancy of Canada (NCC) is already working to protect important natural areas and biological diversity across the country. This large-scale conservation work is critical to maintaining ecological connectivity. In Québec, NCC promotes an integrated approach in its partnerships with conservation stakeholders. In the context of CC, scientific activities, securements, land-use planning, community involvement and the adaptation of road infrastructures are all actions that would allow the consolidation of conservation efforts. Between now and April 2020, action plans promoting consultation and the involvement of various stakeholders will be put in place with local partners in five areas in Québec considered critical to maintaining connectivity.

KEYWORDS: adaptation, climate change, connectivity, ecological corridors, partnerships

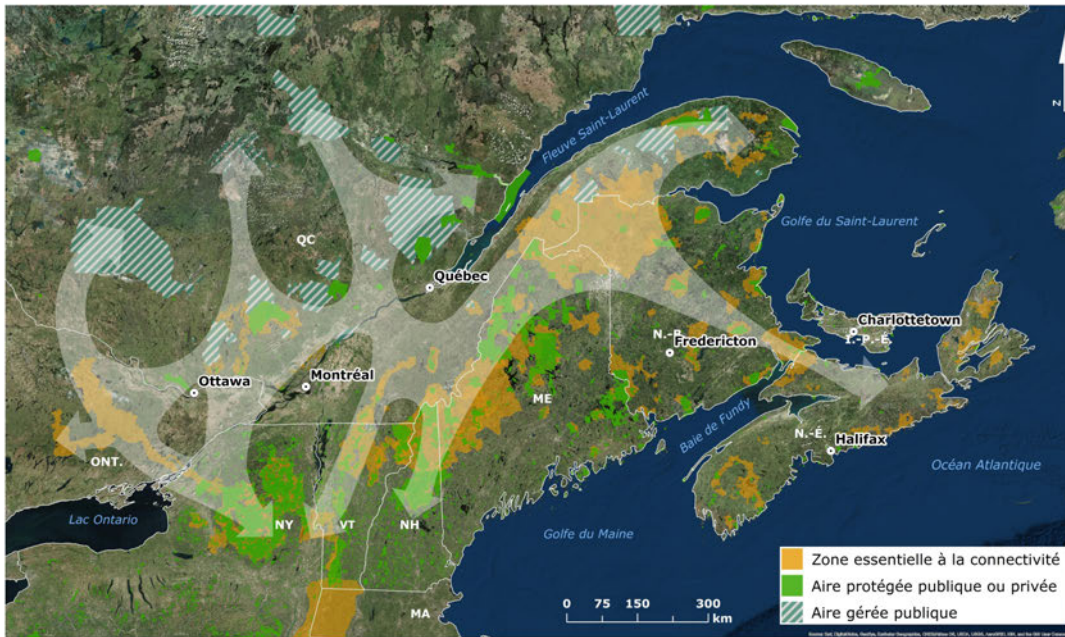
Introduction

Les changements climatiques (CC) exercent une forte pression sur la biodiversité. Ils constituent une grande menace pour la survie des espèces végétales et animales, y compris l'être humain (Berteaux et collab., 2014; Ouranos, 2015). Sous l'influence des CC, Berteaux et collab. (2014) ont estimé qu'au Québec, les niches écologiques des espèces se déplaceront vers le nord à une vitesse moyenne de 45 km par décennie. Le modèle de Lawler et collab. (2013) illustrant le mouvement potentiel de mammifères, d'oiseaux et d'amphibiens en réponse aux CC montre la convergence vers le Québec de plusieurs espèces actuellement présentes au sud de notre frontière. Le territoire québécois joue donc un rôle crucial à l'échelle continentale dans l'adaptation aux CC et pourrait devenir pour l'Amérique du Nord un refuge climatique de plusieurs populations animales et végétales (Ouranos, 2015). L'augmentation des superficies d'aires protégées et interreliées par un réseau de corridors favorisant le déplacement des espèces est une des solutions d'atténuation et d'adaptation visant à favoriser la survie des espèces aux CC

(Auzel et collab., 2012; Batllori et collab., 2017; Bélanger et collab., 2013; Berteaux et collab., 2014; Rudnick et collab., 2012). Dans cette optique, Conservation de la nature Canada (CNC), le plus important organisme national de conservation de terres privées au Canada, entreprend un projet de concertation visant à promouvoir les corridors écologiques dans le sud du Québec comme solution d'adaptation aux CC. D'ici 2020, en partenariat avec d'autres organismes de conservation œuvrant au maintien et à la restauration de la connectivité, le projet vise à mobiliser et à engager des acteurs clés de l'aménagement du territoire et de la gestion des ressources dans l'adaptation aux CC, soit : les municipalités et les MRC, les gestionnaires de forêt, les organismes en environnement, les citoyens, les chercheurs et les gouvernements.

Kateri Monticone (M.Sc.) est coordonnatrice en chef à la science pour Conservation de la nature Canada – région du Québec.
kateri.monticone@conservationdelanature.ca

Corridors écologiques : Adaptation aux changements climatiques



Partenaires de mise en œuvre



Sources des données cartographiques : Conservation de la nature Canada (CNC), The Nature Conservancy (TNC), Deux Phys Une Forêt (2C1F), Éco-Corridors Laurentiens, Algonquin to Adirondacks Collaborative (AZA), Réseau des milieux naturels protégés (RMNP), Ministère de l'Environnement et des Ressources Naturelles du QC (RDGN, Aire protégées publiques), Nouveau Brunswick Minister of Energy and Resource Development, New York Protected Areas Database (NYPAD), Central New Hampshire Regional Planning Commission (CNRPC), Vermont Agency of Natural Resources (ANR), Maine Department of Agriculture, Conservation and Forestry (DACF). Toutes les données représentées sur cette carte n'engagent que les organismes sus-mentionnés. Projection WGS 1984 Web Mercator



Figure 1. Carte des corridors écologiques ciblés par l'initiative.

Changements climatiques et biodiversité

Le climat détermine largement la composition des espèces animales et végétales d'une région. Les changements provoqués par les CC modifient les écosystèmes en affectant entre autres les processus écologiques, la phénologie, la biogéographie et les interactions biotiques actuelles (Auzel et collab., 2012; Bertheaux et collab., 2014; Lawler et Hepinstall-Cymerman, 2010). Dans des conditions changeantes, les espèces sont portées à suivre leur niche écologique afin de demeurer dans les climats auxquels elles se sont adaptées, plutôt que de rester au même endroit et tenter de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques (Bertheaux et collab., 2018).

Les CC des dernières décennies ont déjà influencé la biodiversité québécoise. Par exemple, les événements printaniers des cycles de vie deviennent plus hâtifs et certaines espèces montent vers le nord ou en altitude. Toutefois, contrairement aux analyses réalisées ailleurs dans le monde, d'autres études permettent d'anticiper au Québec un gain plutôt qu'une perte de la biodiversité. En effet, Bertheaux et collab. (2014) ont modélisé les niches écologiques de 765 espèces au Québec. Les résultats obtenus prédisent une transformation du patrimoine naturel québécois par un

remaniement de la biodiversité qui inclura des extinctions régionales, lesquelles seront compensées par l'arrivée encore plus nombreuse de nouvelles espèces (Bertheaux et collab., 2014). Bien que les CC annoncent des répercussions à la fois positives (p. ex. richesse spécifique accrue, allongement de la saison de croissance) et négatives (p. ex. progression d'espèces exotiques envahissantes) sur la biodiversité indigène de la province, de l'Amérique du Nord et de partout sur la planète, la littérature scientifique soutient généralement comme prometteuse la stratégie visant à faciliter l'accès des espèces à des aires protégées et des habitats naturels favorables par des corridors sud-nord (Bertheaux et collab., 2014).

Aires protégées, connectivité et changements climatiques

La création d'aires protégées (AP) a comme objectif de préserver la diversité biologique pour les générations futures (Kormos et collab., 2017). Avec le changement prévu au sein des écosystèmes et la migration anticipée des espèces face aux CC, le rôle et la gestion actuelle des AP du Québec devront être réajustés. L'étude de Batllori et collab. (2017), sur l'évaluation de la vulnérabilité des écosystèmes aux CC à l'échelle de l'Amérique du Nord, suggère que la majorité

des 4512 AP analysées (env. 80 %) pourrait connaître, étant donné le déplacement des zones climatiques, des modifications importantes dans l'abondance ou la répartition des espèces. Par exemple, plusieurs espèces vivant dans les AP risquent de s'éteindre. D'autres, au contraire, pourraient y cohabiter pour la première fois, ce qui entraînerait un changement dans la structure et les fonctions de l'écosystème. Berteaux et collab. (2018) prédisent que les AP du Québec sont sur le point de devenir des refuges climatiques d'importance continentale, mais que la préservation de la biodiversité peut être gravement compromise sans une révision de leur stratégie de conservation et de leur gestion, ou si leur connectivité n'est pas assurée. Effectivement, en réponse aux changements rapides du climat, la connectivité écologique est susceptible de favoriser la migration animale et la dispersion végétale; cela s'applique non seulement en permettant le déplacement des espèces à l'échelle du paysage, mais également en facilitant les flux génétiques et le mouvement des processus écologiques (Auzel et collab., 2012; Bélanger et collab., 2013; Deborah et collab., 2012). Autrement dit, la connectivité écologique favoriserait la résilience des populations face aux perturbations et réduirait les risques d'extinction des espèces (Auzel et collab., 2012; Berteaux et collab., 2014).

Les corridors écologiques reconnus comme solution d'adaptation aux changements climatiques

Les objectifs d'Aichi, un volet clé du « Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 » pour la planète, mentionnent l'importance de conserver les écosystèmes au moyen de réseaux d'aires protégées connectées (CBD, 2011). Plusieurs initiatives d'identification et de protection de corridors sont en cours au Québec. Le gouvernement provincial reconnaît d'ailleurs le maintien de la connectivité comme une action prioritaire dans son « Plan d'Action 2013-2020 sur les CC » (MDDEP, 2012). En août 2016, il signait conjointement avec les gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et les premiers ministres de l'Est du Canada une résolution concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux CC et la conservation de la biodiversité (Résolution 40-3) (SCIC, 2016; St-Pierre et collab., 2018). Dans la foulée de ces événements, CNC réalise l'urgence d'arrimer les initiatives de conservation au Québec à celles des autres provinces canadiennes et des États américains voisins dans une vision commune qui intègre l'adaptation des écosystèmes et de la société aux CC. Pour ce faire, CNC travaille étroitement avec des organismes régionaux dans cinq zones de connectivité ciblées dans le sud du Québec. Ces partenaires agissent à titre de maîtres d'œuvre: Corridor appalachien en Estrie-Montérégie; Nature-Action Québec dans la Ceinture verte de Montréal (Corridor forestier du Grand Coteau); Éco-Corridors laurentiens dans les Laurentides (corridor Oka-Tremblant); Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec dans cette région administrative et Horizon-Nature Bas-Saint-Laurent au Témiscouata.

Identification des cinq zones de connectivité

La vision portée par CNC, à laquelle sont associés de multiples partenaires, est de maintenir un réseau fonctionnel et résilient de corridors naturels entre les aires protégées dans une géographie sud-nord afin d'offrir une perméabilité écologique aux espèces qui devront se déplacer et se disperser. Selon Hilty et collab. (2012), les efforts de conservation de corridors écologiques réalisés localement doivent notamment s'inscrire dans une matrice de connectivité cohérente à diverses échelles spatiales, grandes ou petites. Une bonne planification des corridors écologiques exige d'établir *a priori* une vision à grande échelle du territoire, laquelle permet de tenir compte de l'utilisation du paysage et des processus écologiques qui peuvent influencer la vision de connectivité locale (Auzel et collab., 2012). La vision continentale de la connectivité a d'ailleurs été développée par un organisme américain, Wildlands Network. Cette organisation a défini quatre couloirs continentaux prioritaires pour les actions de conservation ou de restauration de la connectivité (Wildlands Network, 2009). À l'échelle du nord-est de l'Amérique, des paysages résilients et connectés à conserver ont été désignés par Anderson et collab. (2016). À l'échelle de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie, un organisme sans but lucratif canado-américain (Deux pays, une forêt) a identifié les secteurs irremplaçables et les plus vulnérables à la perte de connectivité (Trombulack et collab., 2008). Finalement, à l'échelle régionale, des analyses de connectivité ont été réalisées dans les Laurentides (Boucher, 2013; CNC, 2017), dans la région du Bas-Saint-Laurent (Raymond-Bourret et Nadeau, 2018), dans la région des Trois-Frontières (Québec, Nouveau-Brunswick, Maine) (Morrison et Noseworthy, 2016; SCI, 2012), dans les montagnes Vertes (Hawk et collab., 2012; Robidoux et Guérin, 2010) et en Ontario (Roch, 2015). Ces analyses ont permis à CNC de retenir cinq secteurs prioritaires au Québec en raison de leur position charnière dans des corridors identifiés par les organismes de conservation mentionnés ci-dessus et les risques de perte de connectivité à court et moyen terme en l'absence d'actions de conservation (figure 1). Ces secteurs se situent dans le sud de la province, là où se trouve la plus grande biodiversité, celle qui subit également les pressions les plus fortes exercées par la fragmentation et la conversion des terres (Auzel et collab., 2012).

Une approche intégrée et multisectorielle pour guider les activités

Afin de favoriser le succès de connectivité écologique, CNC a adopté une approche intégrée et multisectorielle inspirée de celle de l'initiative *Staying Connected* (SCI), un regroupement d'experts canadiens et américains en matière de connectivité. Cette approche vise à rendre plus cohérente et efficace la stratégie de conservation des corridors écologiques. Elle encourage l'implication de tous les acteurs de la société civile concernés par le maintien de la connectivité, leur collaboration et le partage des connaissances et des expertises développées.

Cette approche est davantage détaillée par Gratton et Levine (2018) dans ce même numéro du *Naturaliste canadien*.

D'ici avril 2020, CNC coordonnera l'ensemble du projet afin de favoriser une vision stratégique de conservation de la connectivité dans le sud du Québec. CNC joue également le rôle de maître d'œuvre, tout comme 6 autres partenaires responsables de rassembler et d'engager les acteurs locaux ciblés dans la reconnaissance et la conservation des corridors écologiques. Ils le feront par l'entremise de différentes actions de conservation prioritaires telles que la protection et la gestion des terres, la validation des corridors sur le terrain, la conception et la mise en place de passages fauniques à même les réseaux routiers, la science citoyenne, la sensibilisation et l'engagement des collectivités. Pour chaque zone de connectivité, un plan d'intervention décennal sera mis en place avec les acteurs locaux. Les maîtres d'œuvre adapteront leurs moyens en fonction du contexte géographique, écologique et socioéconomique de chaque secteur priorisé. Le plan d'action s'adaptera également à l'expérience et aux travaux déjà en cours par certains organismes. Par exemple, Corridor appalachien travaille sur la connectivité depuis 15 ans et est donc bien avancé dans la mobilisation des acteurs clés, alors qu'Horizon-Nature Bas-Saint-Laurent célèbre à peine sa deuxième année d'existence comme organisme sans but lucratif.

Les solutions proposées se baseront sur les meilleures connaissances scientifiques disponibles à ce jour. Afin de tenir compte de l'évolution des mesures d'adaptation aux CC, CNC mettra en place un programme de suivi de l'efficacité des actions basé sur les « Normes ouvertes pour la pratique de la conservation » (CMP, 2013). Cette méthode de gestion adaptative permet de se réajuster rapidement afin d'établir les mesures de conservation et de gestion appropriées en fonction des effets des CC et de l'évolution des connaissances scientifiques à cet égard.

Un processus collaboratif qui favorise le succès

La mise en place d'un processus collaboratif est souvent considérée comme l'étape essentielle pour maximiser le succès de la conservation de corridors écologiques (Auzel et collab., 2012; Bélanger et collab., 2013; Hilty et collab., 2012). L'approche de CNC avec des organismes régionaux actifs dans chacune des cinq zones de connectivité ciblées facilite la collaboration des acteurs locaux et permet d'obtenir une meilleure intégration des besoins et des expertises à la situation locale. Elle aide à mieux saisir les buts et objectifs, donne l'occasion d'exprimer et d'échanger des idées, de comprendre les contraintes et les limites et de trouver des solutions concrètes et réalistes. Elle favorise le succès à long terme du projet en raison de la confiance des partenaires qui se développe au cours du processus de concertation.

La mise en commun des connaissances et du savoir-faire est primordiale dans cette initiative afin d'en accroître les chances de succès. Ainsi, pour favoriser l'échange d'expertises entre les maîtres d'œuvre de chaque zone de connectivité, CNC coordonne l'ensemble du projet.

La collaboration avec SCI assure également le réseautage avec des partenaires américains et du Nouveau-Brunswick, de manière à assurer la cohérence transfrontalière des initiatives de connectivité et de partager les informations et les outils existants.

Pour constituer un comité-conseil, CNC s'est adjoint des partenaires du milieu de la recherche, tels que Ouranos, le Centre de la science de la biodiversité du Québec (CSBQ), diverses universités, des intervenants du domaine de la foresterie, du tourisme, des aires protégées de même que des organismes municipaux et gouvernementaux. Ce comité se réunira trois fois par année afin de prendre connaissance des activités mises en œuvre, d'émettre des recommandations et de partager les nouvelles connaissances et expériences tout au long de la réalisation du projet. Devant l'engouement et l'enthousiasme suscités par ce projet et afin de mieux répondre aux besoins définis par le comité-conseil et les maîtres d'œuvre, cinq groupes ont également été créés afin de débattre sur des thématiques spécifiques : MRC/municipalités, aménagement forestier, engagement des sociétés civiles, connectivité aquatique et écologie routière. Au total, une cinquantaine d'experts et de parties prenantes sont impliqués à ce jour sur ce projet de corridors écologiques.

Conclusion

Les CC représentent un grand défi de conservation de la biodiversité et imposent une nouvelle vision de la planification de la conservation et de gestion des aires protégées (Batllori et collab., 2017; Bélanger et collab., 2013; Berteaux et collab., 2018; Hobbs et collab., 2010; Hodgson et collab., 2009). Bien que de nombreux travaux de recherche se réalisent afin de mieux comprendre les CC et leurs effets sur les écosystèmes, des actions peuvent et doivent être menées dès maintenant pour atténuer et s'adapter aux changements à venir (Batllori et collab., 2017; Bourque et collab., 2016).

L'initiative coordonnée par CNC et menée par de nombreux partenaires favorise l'implantation de nouvelles approches et véhicule de nouvelles valeurs auprès des gestionnaires du territoire, notamment sur l'importance de conserver une perméabilité écologique dans le paysage et la connectivité des écosystèmes afin de mieux s'adapter aux CC. La promotion et le maintien de liens entre les organismes non gouvernementaux en conservation et les chercheurs, de même qu'entre les praticiens et les décideurs, constituent des éléments essentiels au développement d'une vision cohérente de l'aménagement du territoire dans un contexte de CC et d'un réseau d'aires protégées interconnectées.

L'initiative de concertation impliquant de multiples acteurs constitue une partie du défi à relever en matière de connectivité écologique et permet de définir plusieurs autres projets similaires à réaliser dans une perspective d'adaptation aux CC. Ainsi, l'acquisition de connaissances manquantes, les analyses de modélisation et les exercices de priorisation devront se réaliser afin d'outiller adéquatement les acteurs dans la prise de décisions.

Remerciements

Je voudrais remercier le gouvernement du Québec qui soutient ce projet à travers Action-Climat Québec, un programme découlant du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques financé par le Fonds vert, la Woodcock Foundation, la Fondation ÉCHO et la Fondation de la faune du Québec pour leur contribution financière concernant les premières étapes de cette initiative. Un sincère merci aux nombreux partenaires du projet. Je tiens également à remercier Louise Gratton, Hubert Pelletier-Gilbert, Elsidio Alvarez Suarez, Suzanne Saint-Pierre, Julie Benoit et Christine Beevis Trickett pour leurs précieux conseils lors de la rédaction de ce texte. Finalement, une mention spéciale au travail des réviseurs scientifiques et de l'équipe du *Naturaliste canadien* lors du processus d'évaluation du manuscrit. ◀

Références

- ANDERSON, M.G., A. BARNETT, M. CLARK, J. PRINCE, A. OLIVERO SHELTON et B. VICKERY, 2016. Resilient and connected landscapes for terrestrial conservation. The Nature Conservancy, Eastern Conservation Science, Eastern Regional Office, Boston, Massachusetts, 42 p. Disponible en ligne à : http://nwbcc.org/wp-content/uploads/2016/08/Anderson-et-al.-2016-Resilient_and_Connected_Landscapes_For_Terrestrial_Conservation.pdf.
- AUZEL, P., H. GAONAC'H, F. POISSON, R. SIRON, S. CALMÉ, M. BÉLANGER, M.M. BOURASSA, A. KESTRUP, A. CUERRIER, A. DOWNING, C. LAVALLÉE, F. PELLETIER, J. CHAMBERS, A.E. GAGNON, M.C. BEDARD, Y. Gendreau, A. GONZALEZ, M. MITCHELL, J. WHITELEY et A. LAROCQUE, 2012. Impacts des changements climatiques sur la biodiversité du Québec: Résumé de la revue de littérature. CSBQ, MDDEP, Ouranos, 29 p. Disponible en ligne à : <http://qcbs.ca/wp-content/uploads/2012/03/Revue-de-litt%C3%A9rature-R%C3%A9sum%C3%A9-Web.pdf>.
- BATLORI, E., M.-A. PARIEN, S.A. PARKS, M.A. MORITZ et C. MILLER, 2017. Potential relocation of climatic environments suggests high rates of climate displacement within the North American protection network. *Global Change Biology*, 23 : 3219-3230.
- BÉLANGER, L., D. BERTEAUX, L. BOUTHILLIER, F. BRASSARD, N. CASAJUS, S. CUMMING, V. DAVID, A. DENONCOURT, M.-E. DESHAIES, M.-E. DESMARAIS, É. DOMAINE, S. JUTRAS, J.-F. LAMARRE, J. MARCHAL, E. MCINTIRE, M. RICARD, M.-H. ST-LAURENT et J.-P. TREMBLAY, 2013. Adaptation aux changements climatiques de la conservation de la nature et du système d'aires protégées du Québec. Rapport scientifique présenté au Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques dans le cadre du Programme d'action sur les changements climatiques du gouvernement du Québec, Montréal, 83 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBelanger2013_FR.pdf.
- BERTEAUX, D., N. CASAJUS et S. de BLOIS, 2014. Changements climatiques et biodiversité au Québec, vers un nouveau patrimoine naturel. Les Presses de l'Université du Québec, Québec, 214 p.
- BERTEAUX, D., M. RICARD, M.-H. St-Laurent, N. CASAJUS, C. PÉRIÉ, F. BEAUREGARD et S. DE BLOIS, 2018. Northern protected areas will become important refuges for biodiversity tracking suitable climates. *Scientific Reports*, 8. 10.1038/s41598-018-23050-w.
- BOUCHER, P.-O., 2013. Une stratégie de conservation axée sur la connectivité pour les Laurentides au Québec. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement. Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 95 p. Disponible en ligne à : https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Boucher_PO__2013-07-14_.pdf.
- BOURQUE, A., R. ROY, C. LARRIVÉE et B. OSORIO, 2016. Les grandes priorités du Canada pour renforcer la résilience. Recommandations d'Ouranos pour le cadre pancanadien de lutte contre les changements climatiques. Ouranos, Montréal, 55 p. Disponible en ligne à : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Expos%C3%A9_position_Ouranos.pdf.
- [CBD] CONVENTION SUR LA BIODIVERSITÉ, 2011. Plan stratégique 2011-2020 sur la diversité biologique. Objectif 11. Disponible en ligne à : <https://www.cbd.int/sp/targets/rationale/target-11/>. [Visité le 2018-03-05].
- [CMP] CONSERVATION MEASURES PARTERSHIP, 2013. Open standards for the practice of conservation, V3.0. Disponible en ligne à : <http://cmp-openstandards.org/wp-content/uploads/2014/03/CMP-OS-V3-0-Final.pdf>. [Visité le 2018-02-19].
- [CNC] CONSERVATION DE LA NATURE CANADA, 2017. Analyse de connectivité des corridors naturels pour l'aire naturelle Corridors des Laurentides méridionales. Conservation de la nature Canada, Montréal, Canada, 18 p.
- [CNC] CONSERVATION DE LA NATURE CANADA, 2018. Carte des corridors écologiques. Disponible en ligne à : www.conservationdelanature.ca.
- GRATTON, L. et J. LEVINE, 2018. L'initiative *Staying Connected* : pour reconnecter la nature et les humains par-delà des frontières. *The Naturaliste canadien*, 143 (1) : 12-17.
- HAWK, R., C. MILLER, C. REINING et L. GRATTON, 2012. Staying connected in the Northern Green Mountains: Identifying structural pathways and other areas of high conservation priority. Disponible en ligne à : http://216.92.98.160/assets/ngm_structural_pathways_and_parcel_29oct12_final.pdf. [Visité le 2018-03-03].
- HILTY, J.A., W.Z. LIDICKER Jr. et A. MERENLENDER, 2012. Corridor ecology — The science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation. Island Press, Washington D.C., 344 p.
- HOBBS, R.J., D.N. COLE, L. YUNG, E.S. ZAVALETA, G.H. APLET, F.S. CHAPIN, P.B. LANDRES, D.J. PARSONS, N.L. STEPHENSON, P.S. WHITE, D.M. GRABER, E.S. HIGGS, C.I. MILLAR, J.M. RANDALL, K.A. TONNESSEN et S. WOODLEY, 2010. Guiding concepts for park and wilderness stewardship in an era of global environmental change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8 (9) : 483-490.
- HODGSON, J.A., C.D. THOMAS, B.A. WINTLE et A. MOILANEN, 2009. Climate change, connectivity and conservation decision making: back to basics. *Journal of Applied Ecology*, 46 : 964-969.
- KORMOS, C.F., T. BADMAN, T. JAEGER, B. BERTZKY, R.V. MERM, E. OSIPOVA, Y. SHI et P.B. LARSEN, 2017. World heritage, wilderness and large landscapes and seascapes. IUCN, Gland, Suisse, 70 p. Disponible en ligne à : <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-028.pdf>.
- LAWLER, J.J. et J.A. HEPINSTALL-CYMERMAN, 2010. Conservation planning in a changing climate: assessing the impacts of potential range shifts on a reserve network. Dans : BALDWIN, R. et S.C. TROMBULAK (édit.). *Landscape-scale conservation planning*. Springer-Verlag, New York, p. 325-348.
- LAWLER, J.J., A.S. RUESCH, J.D. OLDEN et B.H. MCRAE, 2013. Projected climate-driven faunal movement routes. *Ecology letters*, 16 (8) : 1014-1022.
- [MDDEP] MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, 2012. Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques (PACC 2013-2020). Le Québec en action vers 2020. Gouvernement du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 66 p. Disponible en ligne à : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf.
- MORRISON, M. et J. NOSEWORTHY, 2016. Identifying Connectivity Networks across the Three Borders Region – New Brunswick, Québec and Maine. Final report. The Nature Conservancy of Canada, Fredericton, 30 p.
- OURANOS, 2015. Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Ouranos, Montréal, 415 p. Disponible en ligne à : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SyntheseRapportfinal.pdf>.

RAYMOND-BOURRET, E. et S. NADEAU, 2018. Analyse de la connectivité faunique : territoire privé du Bas-Saint-Laurent. Agence régionale de mise en valeur des forêts privées du Bas-Saint-Laurent, Rimouski, Québec, 80 p. Disponible en ligne à : http://www.agence-bsl.qc.ca/Services_multiresources/Publications/Rapport_Connectivite_Final.pdf.

ROBIDOUX, C. et J.-R. GUÉRIN, 2010. Identification et validation des corridors naturels du territoire du Corridor appalachien. Phase 1 (2009-2010). Corridor appalachien, Lac-Brome, 22 p.

ROCH, L., 2015. Algonquin to the Adirondacks (A2A): Using circuit theory to measure landscape connectivity. Thèse. Département de géographie, planification et environnement, Université de Concordia. Disponible en ligne à : https://spectrum.library.concordia.ca/979711/1/Roch_Msc_S2015.pdf. [Visité le 2018-02-25].

RUDNICK, D., S.J. RYAN, P. BEIER, S.A. CUSHMAN, F. DIEFFENBACH, C.W. EPPS, L.R. GERBER, V. PREZIOSI et S.C. TROMBULAK, 2012. The role of landscape connectivity in planning and implementing conservation and restoration priorities. Issues in Ecology. Ecological Society of America, Report N° 16, Washington D.C., États-Unis, 20 p. Disponible en ligne à : https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1018&context=geog_facpub.

[SC1] STAYING CONNECTED INITIATIVE, 2012. The three borders linkage area. Disponible en ligne à : http://216.92.98.160/assets/3borderslinkagepathways_aug12_.pdf. [Visité le 2018-02-25].

[SC1C] SECRÉTARIAT DES CONFÉRENCES INTERGOUVERNEMENTALES CANADIENNES, 2016. 40^e conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada, 4 p. Disponible en ligne à : <https://www.cap-cpma.ca/images/40-3%20Climate%20Change%20FR.pdf>. [Visité le 2018-02-25].

ST-PIERRE, D., A. NAPPI, S. DE BELLEFEUILLE, A.-A. LÉVESQUE AUBÉ et S. MARTIN, 2018. La connectivité au-delà des frontières : Résolution 40-3 concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité. Le Naturaliste canadien, 143 (1) : 8-11.

TROMBULACK, S.C., M.G. ANDERSON, R.F. BALDWIN, K. BEASLEY, J. RAY, C. REINING, G. Woolmer, C. Bettigole, G. FORBES et L. GRATTON, 2008. The northern Appalachian/Acadian Ecoregion: priority locations for conservation action. Two Countries, One Forest/Deux Pays, Une Forêt, Special Report 1, Middlebury, 60 p. Disponible en ligne à : https://www.researchgate.net/profile/Robert_Baldwin7/publication/268512683_The_Northern_AppalachianAcadian_Ecoregion_Priority_Locations_for_Conservation_Action/links/546dfabe0cf2bc99c215070e/The-Northern-Appalachian-Acadian-Ecoregion-Priority-Locations-for-Conservation-Action.pdf.

WILDLANDS NETWORK, 2009. Wildways. Disponible en ligne à : <https://wildlandsnetwork.org/wildways>. [Visité le 2018-02-22].



Fier de veiller à la sécurité
des usagers de la route tout en respectant
l'environnement!

L'aménagement du territoire et des corridors fauniques : une approche municipale

Lisette Maillé et Stephen Nicholson

Résumé

Depuis l'adoption de la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme du Québec* il y a maintenant près de 40 ans, l'aménagement du territoire et la planification urbaine ont pris une place croissante dans le quotidien des municipalités rurales. On constate aujourd'hui que le modèle adopté, souvent mal adapté aux particularités du territoire, est insoutenable à long terme, notamment en ce qui concerne la faune sauvage, qui fait partie intégrante des milieux ruraux. La grande faune en particulier occupe de vastes espaces naturels (tant pour ses besoins en habitat que pour ses déplacements), dont il est impératif de tenir compte dans le développement du territoire. Dans la municipalité d'Austin (région de l'Estrie, Québec), les élus locaux ont saisi l'occasion que présentait la refonte quinquennale des règlements d'urbanisme pour introduire les notions de connectivité faunique dans le plan d'urbanisme municipal ainsi qu'intégrer dans son règlement de zonage, des règles et des critères applicables à des secteurs ciblés afin de favoriser la libre circulation de la faune.

MOTS-CLÉS : aménagement du territoire, connectivité écologique, corridor faunique, urbanisme

Abstract

Since the adoption of the *Act respecting land use planning and development in Québec* (Canada) nearly 40 years ago, land use and urban planning issues have become an increasingly important part of the daily activities of rural municipalities. Today, it is apparent that conventional development models, often poorly adapted to the specific features of rural areas, are unsustainable in the long term, particularly with regard to wildlife. The latter is an integral part of the rural landscape, and large species in particular require vast natural areas to provide adequate habitat for healthy populations and to allow movement — a factor that must be taken into consideration during land development. In Austin (Estrie region, Québec, Canada), local officials took advantage of the recent rewriting of urban planning bylaws, which should occur every 5 years, to incorporate the concept of wildlife corridors. The opportunity was also seized to integrate provisions within the zoning by-law to increase habitat connectivity in targeted areas and so facilitate the free movement of wildlife.

KEYWORDS : ecological connectivity, land use, urban planning, wildlife corridors

Introduction

Austin est une municipalité rurale qui occupe un vaste territoire de 8625 hectares situé dans le sud du Québec. On y dénombre sept lacs, dont le lac Memphrémagog, deux grands étangs et des milieux naturels d'intérêt provincial, dont la tourbière Millington, d'une superficie de 264 hectares et qui présente une richesse écologique exceptionnelle. Ce territoire municipal inclut également une partie du parc national du Mont-Orford et du corridor naturel des montagnes Vertes. Sise au cœur de la région Magog-Orford, une région récréotouristique reconnue, la municipalité est proche des villes de Magog, de Sherbrooke, de Granby et de Montréal ainsi que de la frontière américaine. Elle est facilement accessible par le réseau routier, notamment les autoroutes 10 et 55 et les routes 112 et 245 (Municipalité d'Austin, 2016).

Le territoire est occupé majoritairement par la forêt (66,8 %), cependant en perte d'importance depuis 2001, alors qu'elle couvrait 82,5 % du territoire municipal. Les plans d'eau (17,2 %), le milieu anthropique (village, lotissements résidentiels et de villégiature, 7,5 %), l'agriculture (culture du sol, 6,8 %), les friches (1,7 %) et les milieux humides (6,8 %) occupent le reste (Municipalité d'Austin, 2016). La population totale de 3 976 habitants se répartit entre les

résidents permanents (48,4 %) et les résidents saisonniers (51,6 %). L'écart entre les résidents permanents et saisonniers s'est considérablement réduit puisqu'en 1985, les permanents ne représentaient que 29,6 %, et les saisonniers, 70,4 %. La population est concentrée sur le pourtour des lacs et dans le noyau villageois. La densité d'occupation est faible (25,5 habitants/km²) (Municipalité d'Austin, 2016).

La géographie particulière, la répartition des milieux habités et l'accessibilité aux différents services que procure le réseau routier constituent des facteurs d'attraction indéniables pour qui veut y vivre, mais créent également des pressions considérables sur l'environnement. C'est pourquoi il importait aux décideurs municipaux de rechercher une plus grande cohérence dans les choix d'urbanisme afin d'occuper l'espace de manière à préserver les patrimoines naturel et social, et à assurer ainsi un développement durable (Municipalité d'Austin, 2016).

Lisette Maillé est la mairesse de la municipalité d'Austin depuis 2009.

l.maille@municipalite.austin.qc.ca

Stephen Nicholson y est le directeur des Services techniques.

s.nicholson@municipalite.austin.qc.ca

Démarche

La planification stratégique

De 2010 à 2012, la municipalité a réalisé une vaste démarche de planification stratégique à laquelle ont participé des centaines de citoyens (y compris des représentants d'associations communautaires et d'organismes voués à la protection de l'environnement), les élus et des membres du personnel. De cette démarche est ressortie un énoncé qui résume la pensée collective des citoyens: «Austin, un héritage à préserver, un avenir à bâtir.»

Fort de cette démarche participative et hautement novatrice, la municipalité a entrepris de réviser son plan d'urbanisme afin de réaliser la vision d'ensemble adoptée par les citoyens et d'encadrer l'organisation du territoire, à savoir un environnement naturel exceptionnel à préserver et à valoriser. Cela demandait une bonne connaissance du terrain.

Ainsi, de 2013 à 2015, la municipalité a commandé plusieurs études pour améliorer sa connaissance de ses milieux naturels. Elle a ensuite regroupé et évalué l'ensemble des rapports et études antérieurs ainsi que des données publiques dont elle disposait pour dresser un portrait de l'état de ses écosystèmes terrestres (figure 1) et aquatiques. Parmi les éléments pris en considération figuraient les grands massifs forestiers et les corridors naturels les reliant, ces derniers ayant préalablement été identifiés par l'organisme de conservation

Corridor appalachien à l'aide de la géomatique et validés par photo-interprétation (Daguet et Robidoux, 2015).

L'étude du corridor

Bergès et collab. (2010) résumant bien les éléments qui ont amené la municipalité d'Austin à pousser plus loin sa démarche:

La fragmentation et la destruction des habitats qui résultent des activités humaines sont considérées comme des causes majeures de l'érosion de la biodiversité. La réduction de la taille des fragments d'habitats et l'augmentation de leur isolement affectent, à long terme, la viabilité des populations d'espèces qui y vivent, de par la limitation voire la disparition des échanges entre populations découlant de la création de discontinuités.

Conscientisée à l'importance et à la fragilité du corridor naturel existant entre les monts Orford et Chagnon dans le nord de son territoire, la municipalité d'Austin a mandaté Corridor appalachien pour réaliser une vérification supplémentaire sur le terrain et pour caractériser le corridor naturel reliant les massifs forestiers du mont Chagnon (au sud-ouest) et du mont Orford (au nord-est) (Daguet et Robidoux, 2015) (figure 2).

Le secteur à l'étude est traversé par d'importantes structures anthropiques dont l'autoroute 10, la route 112, une voie ferrée et un gazoduc. De plus, il s'agit d'un secteur de villégiature développé il y a plus de 70 ans et qui est aujourd'hui fortement fragmenté. L'étude a permis de vérifier sur le terrain les modèles numériques ayant servi à délimiter les corridors

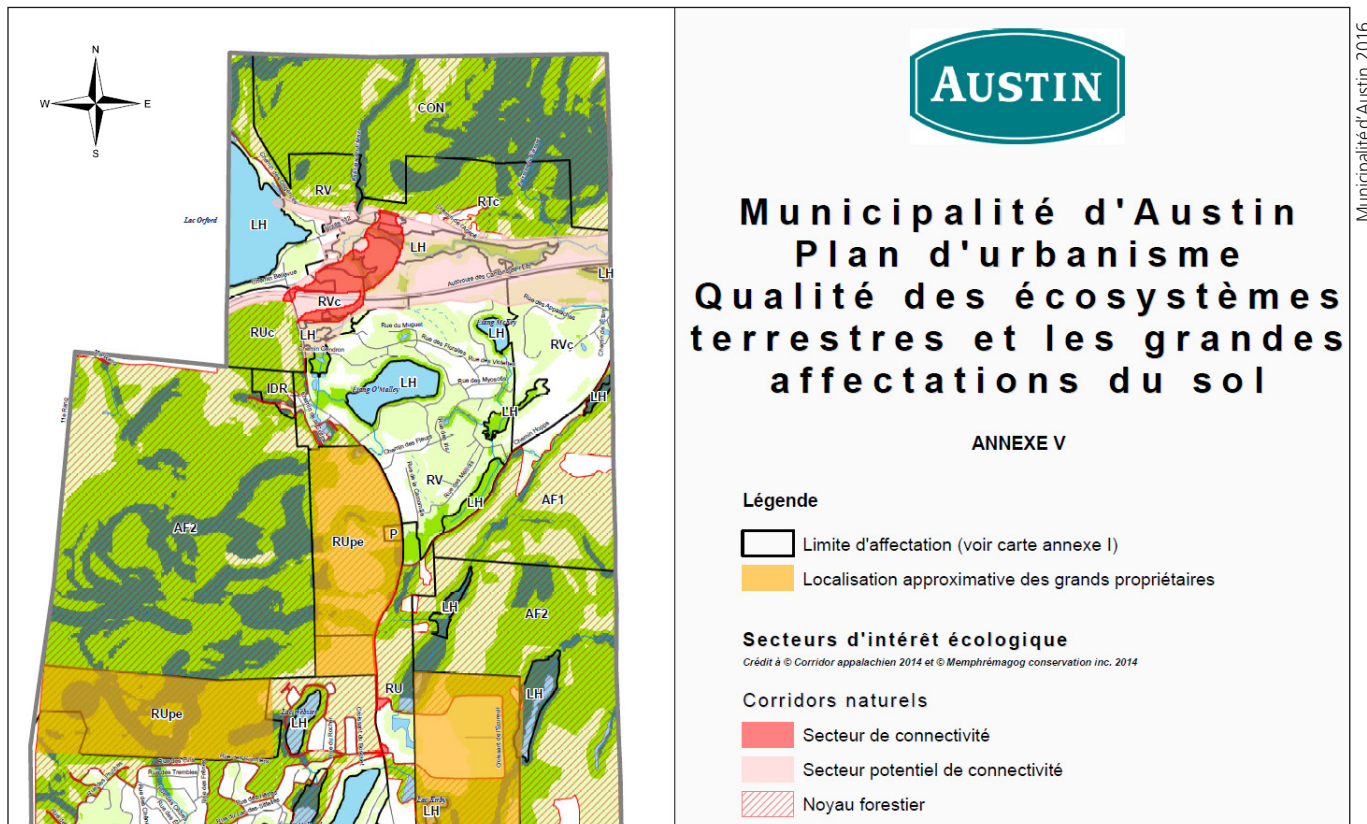


Figure 1. Carte illustrant la qualité des écosystèmes terrestres et les secteurs de connectivité faunique pré-validation dans la municipalité d'Austin (région de l'Estrie, Québec).

Municipalité d'Austin, 2016

naturels de manière préliminaire. Des modifications ont été apportées à la carte du corridor naturel préalablement identifié (figure 3). Entre autres, une bande considérable de terrain au sud de l'autoroute 10 et des parcelles en périphérie des plans d'eau au sud du secteur de villégiature ont été ajoutées. De plus, les milieux humides ont été délimités avec une plus grande précision et catégorisés selon leur type.

L'intégration réglementaire

Une fois le corridor naturel localisé, les urbanistes-conseils ont travaillé de concert avec Corridor appalachien et les services techniques de la municipalité pour définir ses limites et l'intégrer au plan de zonage (figure 4) tout en respectant les affectations du sol prévues au schéma d'aménagement et de développement de la municipalité régionale de comté (MRC) de Memphrémagog (MRC de Memphrémagog, 2013). Le règlement de zonage incorporant ces mesures normatives est entré en vigueur le 26 octobre 2016.

À l'intérieur des zones identifiées « connectivité » au plan de zonage (et qui correspondent à la présence d'un corridor faunique), une série de normes ont été ajoutées afin de favoriser le maintien de la connectivité faunique. Ces

normes répondent à trois objectifs : l'élimination des obstacles au passage de la faune, l'élargissement des bandes riveraines et la préservation du couvert forestier.

Élimination des obstacles au passage de la faune

Les normes particulières qui concernent l'élimination des obstacles au passage de la faune portent sur les clôtures, tous usages confondus. Ainsi, dans les zones ciblées, les clôtures doivent satisfaire les exigences suivantes (normes inspirées de Paige, 2008) :

- 1) Le fil supérieur ne doit pas être à plus de 101,6 cm (40 po) du sol;
- 2) Il doit y avoir au moins 30,5 cm (12 po) de distance entre les deux fils supérieurs;
- 3) Il doit y avoir au moins 45,7 cm (18 po) de distance entre le fil du bas et le sol;
- 4) Les fils du haut et du bas doivent être lisses;
- 5) La clôture ne doit comporter aucun tirant vertical (c'est-à-dire sans grillage à mailles);
- 6) Les pieux/poteaux doivent être installés à intervalles de 5 m (16,5 pi);
- 7) La clôture doit être pourvue d'échappatoires.

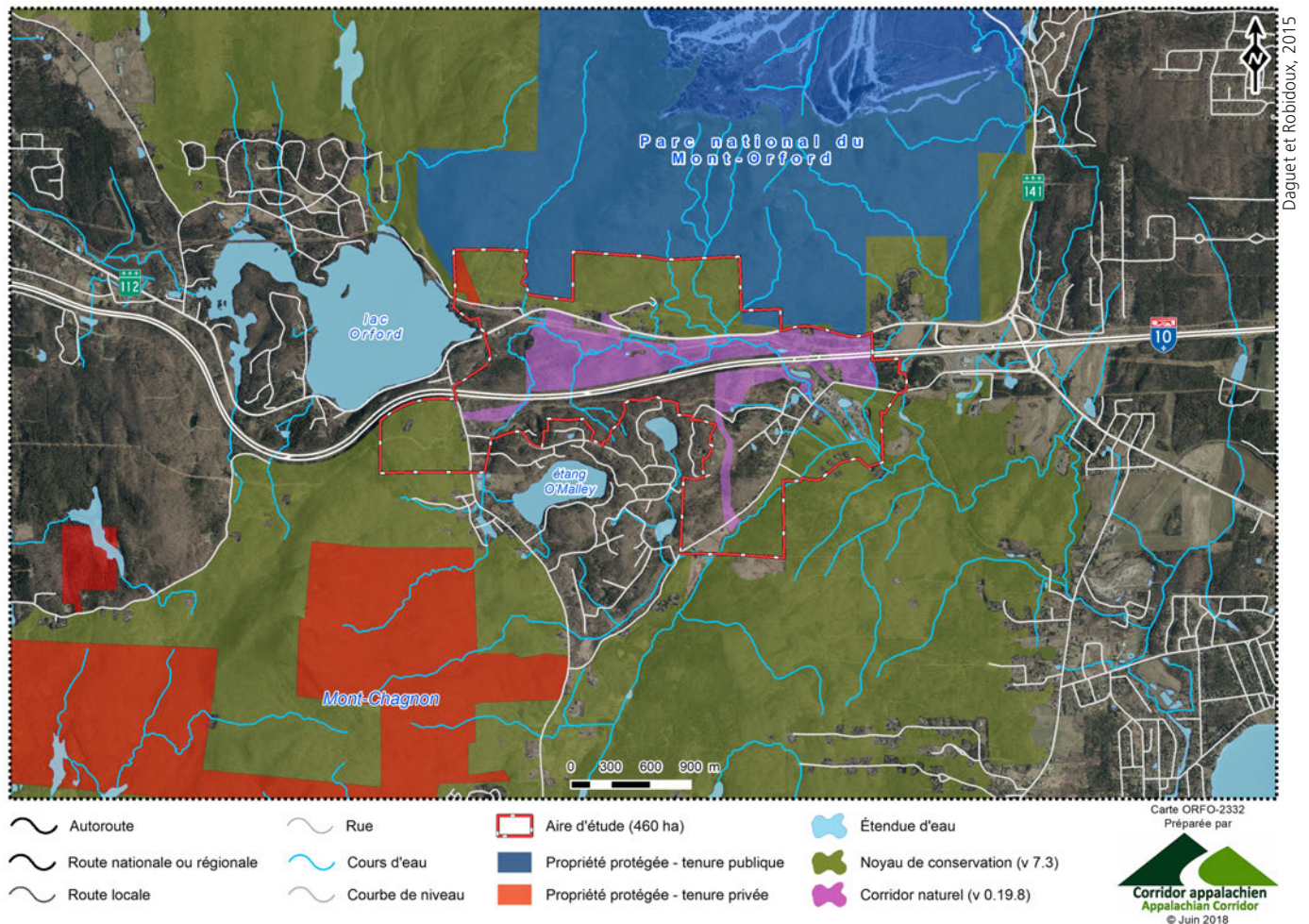
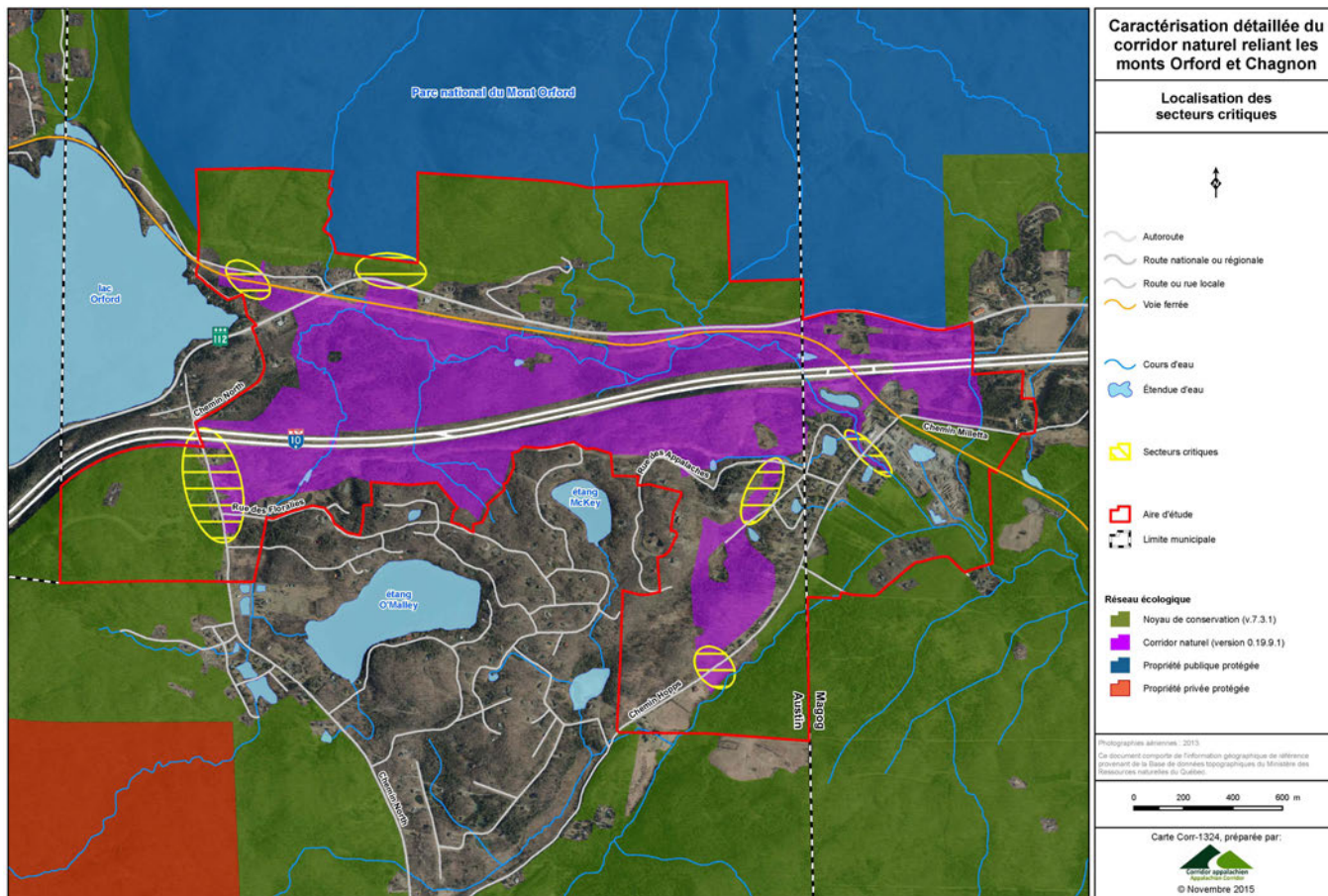


Figure 2. Carte situant le corridor naturel dans la municipalité d'Austin (région de l'Estrie, Québec) avant sa validation par l'organisme de conservation Corridor appalachien.



Daguet et Robitoux, 2015

Figure 3. Carte illustrant le corridor naturel présent dans la municipalité d’Austin (région de l’Estrie, Québec) après sa validation en 2015 par l’organisme de conservation Corridor appalachien.

Élargissement des bandes riveraines

Les activités sont strictement limitées dans les bandes riveraines qui bordent les lacs et les cours d’eau. Celles-ci ont été élargies à 20 m, plutôt que la norme standard exigeant 10 ou 15 m en vertu de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (Gouvernement du Québec, 2005). Cet élargissement a pour objet de favoriser les fonctions écologiques associées aux écosystèmes riverains, comme celle de corridor écologique.

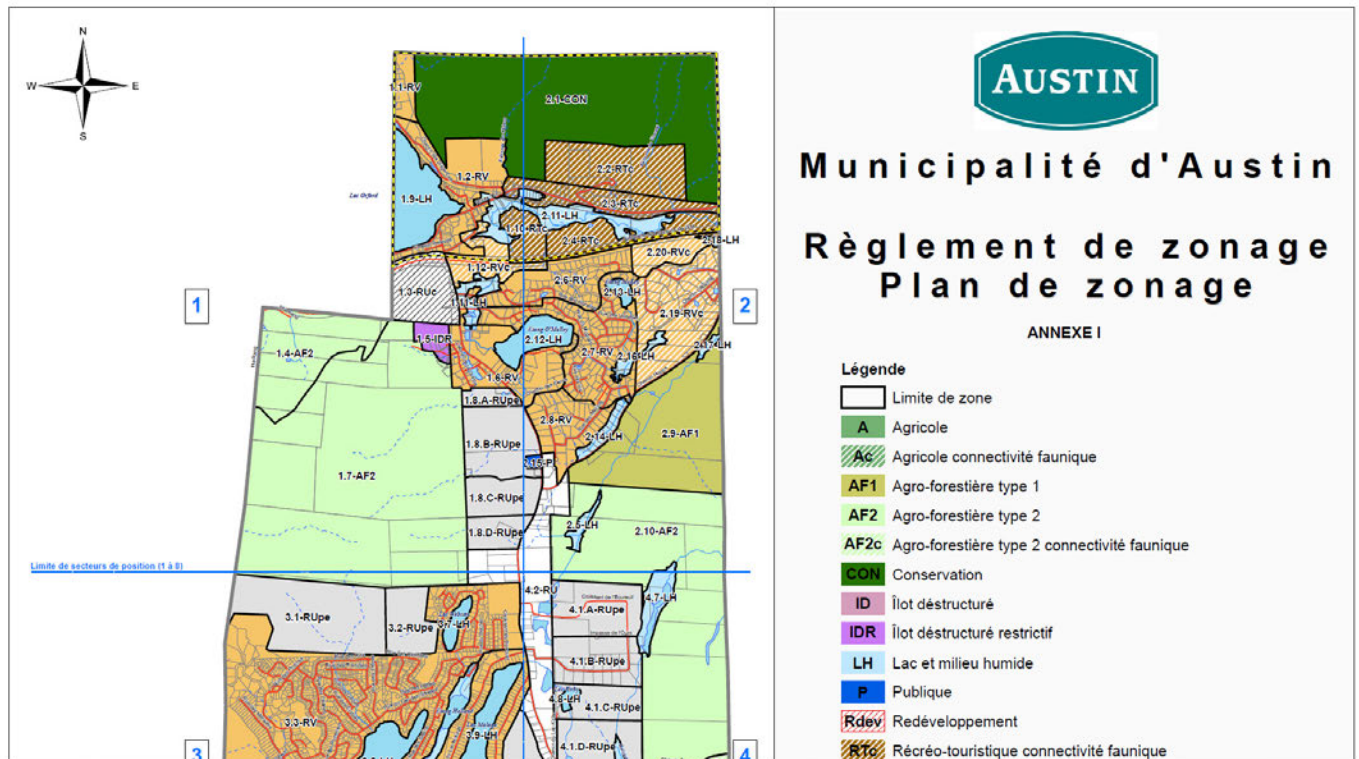
Préservation du couvert forestier

Par ailleurs, en ce qui concerne la protection du couvert forestier — une action complémentaire à la conservation des milieux naturels —, la municipalité a interdit les travaux d’abattage d’arbres à une fin commerciale dans les zones de connectivité faunique. Finalement, les contraintes topographiques et la concentration de milieux humides jumelées à la présence de plusieurs infrastructures (routes, chemin de fer, lignes de distribution électrique et gazoducs) sont telles qu’elles rendent le secteur peu propice à l’ouverture de nouvelles routes qui pourraient accentuer la fragmentation.

Conclusion

Après quatre décennies d’application d’un modèle d’aménagement du territoire que l’on sait aujourd’hui incompatible avec le développement durable, compte tenu de ses conséquences indéniablement néfastes pour les écosystèmes terrestres, aquatiques et fauniques (eutrophisation accélérée des plans d’eau, remblayage, creusement et drainage des milieux humides, érosion des sols, multiplication des chemins, etc.), une révision de la façon d’aménager et d’occuper le territoire de la municipalité d’Austin était manifestement devenue nécessaire.

Qui plus est, les consultations citoyennes avaient fait ressortir l’importance de tenir compte des milieux naturels exceptionnels dans la planification du développement du territoire, afin d’assurer une cohabitation harmonieuse entre l’homme et son environnement et contribuer ainsi à la préservation de la biodiversité. La municipalité d’Austin a donc révisé son plan d’urbanisme, adopté un plan d’action pour un aménagement durable du territoire 2015-2017 (plan qui lui a d’ailleurs valu le Prix des collectivités durables 2016 de la Fédération canadienne des municipalités) et révisé ses règlements de zonage et de lotissement pour tenir compte des préoccupations des citoyens.



Municipalité d'Austin, 2016

Figure 4. Extrait de la version définitive adoptée du plan de zonage de la municipalité d'Austin (région de l'Estrie, Québec) comprenant les secteurs de connectivité.

La municipalité d'Austin prévoit la tenue d'un exercice de sensibilisation auprès des résidents dans les zones concernées afin de les informer de l'existence des corridors naturels et du rôle fondamental que ceux-ci jouent dans la préservation de vitalité et de la biodiversité des massifs forestiers qu'ils relient.

Par ailleurs, plusieurs organisations, y compris le ministère des Transports du Québec (MTQ) ainsi que le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP), s'affairent à inventorier et à géolocaliser les collisions routières avec la faune ainsi que les aires d'hivernage du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et de l'orignal (*Alces americanus*), dans le but de cibler précisément les endroits critiques le long de l'autoroute 10 à la hauteur du corridor naturel à Austin et dans plusieurs autres zones critiques.

Étant donné le peu de temps qui s'est écoulé depuis l'entrée en vigueur du nouveau règlement et compte tenu de la diversité des pressions que subit la faune dans ce corridor naturel d'importance, il est encore trop tôt pour mesurer les effets immédiats des nouvelles dispositions. La municipalité d'Austin suivra avec intérêt l'état évolutif des connaissances dans l'objectif de maintenir sa participation à l'action concertée pour préserver les corridors naturels et fauniques.

Remerciements

La municipalité d'Austin remercie toute l'équipe de Corridor appalachien pour le partage de son expertise relative à l'identification et à la protection des corridors fauniques, ainsi que la firme SCU (Service Conseil en Urbanisme) pour

son accompagnement de premier ordre dans la révision du plan d'urbanisme et le soutien à la rédaction de dispositions précises visant la protection de la connectivité écologique sur le territoire d'Austin. Les auteurs remercient également les réviseurs de la première version de cet article. ◀

Références

BERGÉS, L., P. ROCHE et C. AVON, 2010. Corridors écologiques et conservation de la biodiversité, intérêt et limites pour la mise en place de la trame verte et bleue. *Sciences Eaux & Territoires*, 3 : 34-39.

DAGUET, C. et C. ROBIDOUX, 2015. Caractérisation détaillée du corridor naturel reliant les monts Orford et Chagnon. *Corridor appalachien*, Eastman, Québec, 44 p. + annexes.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2005. Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2, a. 2.1), Bibliothèque nationale du Québec, Québec. Disponible en ligne à : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/>.

MRC DE MEMPHRÉMAGOG, 2013. Schéma d'aménagement et de développement de la MRC de Memphrémagog. MRC de Memphrémagog, Magog, Québec. Disponible en ligne à : <https://www.mrcmemphremagog.com/gestion-du-territoire/amenagement-du-territoire/schema-damenagement-revise/>.

MUNICIPALITÉ D'AUSTIN, 2016. Plan d'urbanisme durable n° 16-429. Municipalité d'Austin, Austin, Québec, 43 p. Disponible en ligne : http://municipalite.austin.qc.ca/wp-content/uploads/reglement_plan_durbanisme.pdf. [Visité le 2018-07-09].

PAIGE, C., 2008. A landowner's guide to wildlife-friendly fences. Landowner/Wildlife Resource Program (Montana Fish, Wildlife and Parks.), Helena, Montana (États-Unis), 38 p. Disponible en ligne : <http://publications.gov.sk.ca/documents/66/95177-Landowner's%20Guide%20to%20Wildlife%20Friendly%20Fences.pdf>.

La science citoyenne au service de la conservation : deux programmes dans la région transfrontalière des montagnes Vertes dans la chaîne des Appalaches

Isabelle Grégoire et Bridget Butler

Résumé

Les programmes Faune sans frontières de la Fiducie foncière de la vallée Ruitier (FFVR) et *WildPaths* de Cold Hollow to Canada (CHC) illustrent la contribution de la science citoyenne dans l'avancement et la pérennité de projets de conservation et d'aménagement du territoire. Ils prennent place sous différentes plateformes éducatives dans la région des montagnes Vertes de la chaîne des Appalaches, qui chevauche le nord du Vermont et le sud du Québec. Ces programmes invitent les citoyens à prendre part à la science en participant concrètement aux projets en cours sur leur territoire. Parallèlement, ils incitent les scientifiques et experts du milieu à intégrer la science citoyenne dans leurs travaux de recherches en amont des mesures de conservation. En 2017, dans le cadre du vaste projet de Corridor appalachien sur l'identification et la protection des corridors naturels et des passages fauniques de part et d'autre de l'autoroute 10 au Québec, la FFVR a soutenu la formation de dizaines de citoyens au pistage et au suivi faunique. Cette initiative, réalisée en collaboration avec CHC, témoigne des efforts éducatifs communs qui appuient les projets de conservation dans la région transfrontalière des montagnes Vertes.

MOTS-CLÉS : connectivité, conservation, écosurveillance, pistage faunique, science citoyenne

Abstract

The *Faune sans frontières* program of the Ruitier Valley Land Trust (RVLT) in Québec (Canada) and the *WildPaths* program of Cold Hollow to Canada (CHC) in Vermont (United States), demonstrate how citizen science can contribute to the advancement and sustainability of conservation and land-use management projects. These two programs are active in the transborder area of the Green Mountains, which straddles northern Vermont and southern Québec. Using a variety of educational platforms, they encourage citizens to become actively engaged in science by participating in projects taking place within their community. At the same time, the programs serve as an invitation to scientists and experts to consider citizen science as a component of their research and conservation work. In 2017, as part of the vast Appalachian Corridor project to identify and protect natural corridors and wildlife passages on either side of Highway 10 in Québec, the RVLT engaged the local community by training citizens in wildlife tracking and monitoring. This educational initiative, carried out in collaboration with CHC, supports conservation efforts in the critical transborder region of the Green Mountains.

KEYWORDS: animal tracking, citizen science, connectivity, conservation, ecological monitoring

Introduction

L'ampleur des défis écologiques actuels ainsi que l'urgence d'agir interpellent le monde de l'éducation relative à l'environnement et à l'écocitoyenneté (ERE). La complexité de la tâche demande un plus grand partage de la responsabilité éducative entre tous les acteurs de la société (Cavalier et Kennedy, 2016; Cheriki-Nort, 2010; Cooper, 2016). D'un point de vue écologique, la fragmentation et la dégradation des milieux naturels, la perte parfois irréversible des services écosystémiques qui en découlent, et la disparition d'espèces animales et végétales, pressent le développement de stratégies novatrices et expansives qui rétablissent un rapport respectueux à l'environnement (Berteaux et collab., 2014). En ce sens, l'ERE représente une stratégie fondamentale dans l'amorce d'une transition écologique (Sauvé et collab., 2017). Une ambitieuse coalition, composée de chercheurs et de praticiens, s'active depuis quelques années au Centr'ERE (Centre de recherche

en éducation et formation relatives à l'environnement et l'écocitoyenneté) de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et propose une politique provinciale d'ERE comme stratégie transformatrice de notre société québécoise. Cette stratégie éducative a pour objectif de mettre le rapport à l'environnement et aux communautés au cœur des préoccupations et des actions sociétales (Centr'ERE, 2014-2015).

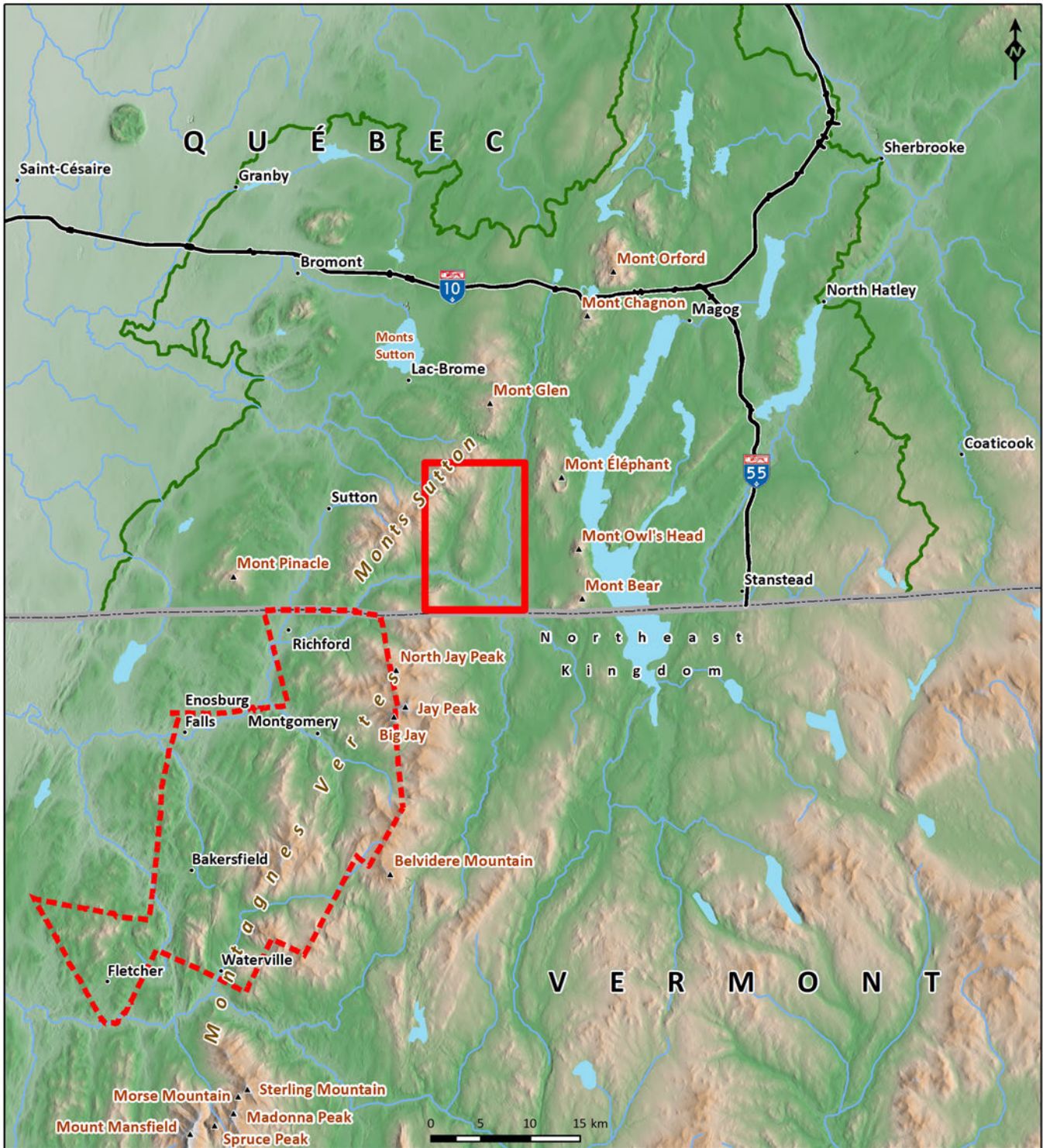
Isabelle Grégoire (B.Sc. Urbanisme, M. Environnement et Géographie) est conseillère et formatrice en sciences de l'environnement et écocitoyenneté, et coresponsable des programmes éducatifs de la Fiducie foncière de la vallée Ruitier.

info@valleeruitier.org

Bridget Butler (B.Sc. Biologie) est présidente de Bird Diva Consulting, directrice de Cold Hollow to Canada et coordonnatrice du projet WildPaths au Vermont (États-Unis).

info@coldhollowtocanada.org

Territoires d'action de la Fiducie foncière de la vallée Ruitter (FFVR)
et de Cold Hollow to Canada (CHC)



Carte ACA-2334, © Juillet 2018. Données géospatiales: Gouvernement du Québec, Gouvernement du Canada et USGS.

- Territoire d'action de Corridor appalachien
- Territoire d'action de la Fiducie foncière de la vallée Ruitter (FFVR)
- Territoire d'action de Cold Hollow to Canada (CHC)



Figure 1. Territoire d'action des programmes transfrontaliers de science citoyenne de la Fiducie foncière de la Vallée Ruitter (FFVR) (rectangle délimité par le trait continu, au nord de la frontière canado-américaine) et de Cold Hollow to Canada (CHC) (zone délimitée par le trait pointillé, au sud de la frontière canado-américaine).

Territoire d'action

Les programmes de science citoyenne présentés ici se déploient sur le grand territoire d'action de l'organisme Corridor appalachien au Québec (Corridor appalachien, 2018; Daguet et Lelièvre, 2018) et de Cold Hollow to Canada (CHC) au nord du Vermont (figure 1). Ce territoire transfrontalier fait partie des montagnes Vertes, au sein de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie (Gratton, 2003; voir aussi la carte dans l'article de Gratton et Levine, 2018 dans ce numéro). La partie québécoise de ce grand territoire est dominée par le massif des monts Sutton où se succèdent plusieurs sommets formant un véritable corridor naturel pour la faune : le Round Top (sommets Rond), les monts Gagnon, Écho et Singer ainsi que les monts Éléphant, Owl's Head, Glen, Foster, Chagnon et Orford. Ce territoire abrite une importante population humaine, résidente et saisonnière, qui génère une activité économique dynamique sur ce vaste massif forestier (Gratton et Levine, 2018). Cette communauté cohabite avec des mammifères à grands domaines vitaux tels que le lynx roux (*Lynx rufus*), l'ours noir (*Ursus americanus*), l'orignal (*Alces americanus*) et le pékan (*Martes pennanti*) (Morse, 2000; Rezendez, 1999) de même qu'avec le coyote (*Canis latrans*), le renard roux (*Vulpes vulpes*) et le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), présents en abondance.

Le partenaire québécois : la Fiducie foncière de la vallée Ruiter

La Fiducie foncière de la vallée Ruiter (FFVR) est un précurseur au Québec en matière de conservation légale et à perpétuité des milieux naturels en terres privées. Fondée en 1987 par Mme Stansje Plantenga, son défunt mari M. Robert W. Shepherd et M. Jacques Marcoux, l'organisme fut le premier au Canada à s'être inspiré des *land trusts* instaurés 10 ans plus tôt aux États-Unis (Land Trust Alliance, 2018). La FFVR a pour mission la protection de la faune, de la flore et de terrains à grande valeur écologique, par voie d'acquisitions ou d'ententes de conservation. En 2018, dans la vallée Ruiter, la FFVR protège 250,6 ha détenus en pleins titres, 13 ha sous servitude de conservation et 6 ha qui bénéficient d'un statut de réserve naturelle et dont elle assume l'intendance. Elle détient aussi une servitude de conservation sur 2 423 ha au cœur du massif des monts Sutton, sur la propriété de l'organisme Conservation de la nature Canada (CNC) et dont la gestion incombe à Corridor appalachien, organisme régional de conservation voué à la protection des milieux naturels des Appalaches du sud du Québec. En matière d'éducation, la FFVR a entrepris depuis 2002 un véritable chantier éducatif afin de répondre, à long terme et de façon durable, à sa mission de maintenir la viabilité écologique des milieux naturels. L'ensemble de ses programmes éducatifs vise l'amélioration des connaissances des principaux enjeux liés à la conservation des milieux naturels et à l'aménagement du territoire, ainsi que l'implication citoyenne dans l'écovigilance des corridors fauniques.

Le partenaire américain : Cold Hollow to Canada

Cold Hollow to Canada (CHC) est un organisme de conservation forestière à but non lucratif situé dans le nord des montagnes Vertes du Vermont (figure 1), dans un secteur nommé les montagnes de Cold Hollow. Le territoire d'action de CHC fait partie du lien écologique critique des montagnes Vertes du Nord (voir la carte dans Gratton et Levine, 2018), qui s'étend de la forêt d'État du mont Mansfield au Vermont, jusqu'au nord du parc national du Mont Orford au Québec. Ce lien est particulièrement essentiel au déplacement de la faune du sud vers le nord, le long des montagnes Vertes, et d'est en ouest, à travers le Northeast Kingdom du Vermont et jusqu'au New Hampshire et au Maine. Bien que la majeure partie de cette région compte de vastes étendues de forêts intactes, elle est également l'une des moins protégées et des plus vulnérables aux impacts du développement économique et de la croissance démographique (Trombulak et collab., 2008). En raison de cette vulnérabilité, CHC concentre ses efforts sur le maintien de la connectivité et de la santé des forêts grâce à des activités de sensibilisation des communautés locales, au travail avec les propriétaires fonciers et à des projets de science citoyenne.

L'approche retenue : partenariats et formations

Afin de participer à la protection du corridor écologique entre les Appalaches du sud du Québec et du nord du Vermont, la FFVR et CHC ont développé des partenariats avec les organismes d'action et les communautés locales. Ils ont ainsi conçu des programmes de formation citoyenne visant le suivi des mammifères de leur territoire. Cette implication pratique se traduit par une récolte de données basée sur des observations d'indices de présence faunique et d'animaux morts ou vivants. Ces informations relevées sur le terrain visent à servir les recherches scientifiques en cours sur le territoire d'action, notamment celles qui concernent la connectivité et l'écologie routière.

Les protocoles des programmes Faune sans frontières et WildPaths

La FFVR a acquis, au cours des 15 dernières années, une expertise pratique et citoyenne du suivi faunique, basée sur la méthode de pistage, développée par la biologiste Susan Morse. Mme Morse est une pionnière en Amérique du Nord de l'utilisation du pistage comme outil scientifique de recensement des indices de présence animale (Morse, 2000). Elle est aussi fondatrice de l'organisme Keeping Track Inc. au Vermont et œuvre à la protection de corridors écologiques depuis plus de 35 ans. Le pistage est une science pratique qui étudie l'utilisation du territoire faite par la faune. C'est une approche inductive basée sur le recensement des signes et traces laissés par les animaux sauvages (empreintes, pistes ou marques) dans le but de confirmer leur présence et documenter leurs comportements (Elbrock, 2008; Morse, 2000; Rezendez, 1999).

Un protocole a été établi par CHC dans le cadre du projet *Wildpaths*, pour la collecte d'informations et la prise de données photographiques d'animaux vivants, d'empreintes

animales et de carcasses d'animaux frappés, observées sur ou en bordure des routes du réseau routier du territoire. Ces protocoles sont basés sur les travaux du projet *Wildlife Road Watch* de Maine Audubon, partenaire de l'initiative Staying Connected (Maine Audubon, 2018; Staying Connected Initiative, 2018). Le projet *WildPaths* utilise la plateforme en ligne *iNaturalist*, accessible par ordinateur, téléphone intelligent ou tablette électronique, pour documenter et visualiser les observations rapportées par des citoyens bénévoles. Le projet n'exige pas de formation particulière des participants, il propose toutefois des ateliers sur l'utilisation de la plateforme *iNaturalist* et offre différentes activités éducatives sur l'importance de la connectivité écologique pour la faune. Le but du projet *WildPaths* est de valider la modélisation des passages fauniques réalisée par le Vermont Fish & Wildlife Department, en fournissant des données tangibles aux municipalités concernées sur le territoire d'action de CHC. Ces données permettront de prioriser les actions de conservation dans les secteurs clés de la connectivité des habitats fauniques et d'orienter des décisions d'aménagement telles que l'installation de panneaux de signalisation ou les remplacements de ponts et ponceaux.

Résultats : les programmes Faune sans frontières au Québec et *Wildpaths* au Vermont

Le programme Faune sans frontières de la FFVR comprend 3 formations de suivi faunique : un programme scolaire, un programme citoyen et un programme spécialisé.

Un programme scolaire populaire

Chaque année depuis 2002, une centaine de jeunes des écoles primaires et secondaires du territoire d'action sont initiés au pistage faunique et impliqués dans l'écourveillance

des habitats naturels de leur milieu de vie et la promotion de leur protection (figure 2). Par exemple, de 2007 à 2013, des élèves du 3^e cycle des écoles primaires de Mansonville ont organisé annuellement une foire environnementale pour présenter les résultats de leurs suivis fauniques aux citoyens et aux élus. Chaque année, les jeunes ont observé les traces et signes (empreintes, terriers, excréments) d'espèces « phares » de notre territoire (Morse, 2000), qui sont sensibles à la qualité des écosystèmes et indicatrices de la santé des milieux (Morse, 2000; Rezendez, 1999). Ils ont ainsi confirmé la présence de la loutre de rivière (*Lontra canadensis*) et du vison d'Amérique (*Neovison vison*) près de la rivière Missisquoi Nord, ainsi que les nombreux déplacements du cerf de Virginie, du renard roux et du coyote à proximité des écoles. Dans la municipalité d'Eastman, de 2010 à 2014, 50 jeunes de 6^e année ont confirmé la présence annuelle de l'orignal lors de suivis fauniques réalisés dans un milieu humide à moins de 5 km de leur école. Des marques d'alimentation sur des espèces végétales appréciées de ce grand cervidé, l'érable de Pennsylvanie (*Acer pensylvanicum*) et la viorne à feuilles d'aulne (*Viburnum alnifolium*) (Morse, 2000; Rezendez, 1999), ainsi que des empreintes et pistes de cet ongulé, le plus grand marcheur/trotteur du territoire, ont été observées en abondance. Pour chaque observation, les jeunes remplissaient une fiche technique qui documentait l'espèce, l'habitat, les conditions d'observation et le comportement de l'animal. Enfin, avec le soutien financier de la municipalité, les jeunes des écoles de la ville de Lac-Brome patrouillent depuis 2014, le boisé urbain situé entre l'école et l'hôtel de ville afin de documenter sa valeur écologique. Chaque année, les jeunes citoyens scientifiques ont confirmé la présence du vison d'Amérique, du renard roux, de l'écureuil roux (*Tamiasciurus hudsonicus*) et du rat musqué (*Ondatra zibethicus*). Ce travail *a priori* éducatif



Figure 2. Faune sans Frontières : programmes a) scolaire (à gauche) et b) citoyen (à droite).

I. Grégoire et S. McKergow

pourrait éventuellement compléter les inventaires écologiques réalisés par des experts et contribuer aux procédures menant à la protection légale de ce petit boisé. Ces expériences scolaires d'action écocitoyenne et de sciences en plein air reconnectent les jeunes à la nature, contribuent au développement d'un rapport important d'appartenance à leur territoire et amorcent des comportements pour sa conservation (Louv, 2005). Pourtant, le manque de financement récurrent pour les institutions scolaires et les organismes environnementaux, l'absence de partenariats durables, le peu de souplesse des programmes scolaires et les changements fréquents dans le personnel des institutions scolaires des petites municipalités, expliquent le manque de pérennité du programme.

Un programme citoyen de suivi faunique

La FFVR a développé une expertise unique au Québec en matière de science citoyenne relative au suivi faunique dans le cadre de projets de conservation. Elle a été inspirée du programme Keeping Track Inc. mentionné plus haut, qui a formé des centaines de citoyens à l'écovigilance des milieux naturels en Nouvelle-Angleterre. De 2002 à 2012, une trentaine de « pisteurs » du Québec ayant suivi la formation Keeping Track Inc. au Vermont, ont patrouillé environ 25 hectares de milieux forestiers répartis dans les secteurs de Mansonville, de Sutton, du lac Bowker dans le Canton d'Orford, du mont Chagnon à Bolton-Est et de la rivière au Saumon à Kingsbury (FFVR, 2018). Les suivis fauniques ont permis de confirmer la présence d'espèces « phares » de moyens et de grands mammifères : le lynx roux, l'ours noir, l'orignal, le vison d'Amérique, la loutre de rivière et le pékan (Morse, 1999). Les pisteurs ciblaient aussi le cougar (*Felis concolor*), le lynx du Canada (*Lynx canadensis*) et la martre d'Amérique (*Martes americana*). Ces deux dernières espèces n'ont pas encore été observées mais pourraient traverser le territoire, puisque

des occurrences ont déjà été confirmées dans les États de la Nouvelle-Angleterre et au Québec (Aylward et collab., 2018; Gauthier, 2010; Zaino et collab., 2018).

Entre 2002 et 2012, à une fréquence d'une journée par saison, des équipes de pisteurs ont patrouillé dix parcours préétablis et invariables de 4 à 5 ha chacun, comprenant des habitats naturels propices aux observations fauniques (escarpements, crêtes, vallées, étangs de castors et corridors riverains). En plus des informations sur l'espèce, des coordonnées géographiques et des indices fauniques répertoriés, les pisteurs ont recueilli des données sur les habitats, les conditions d'observation et les espèces végétales particulièrement utilisées par la faune. Les données récoltées ont permis de confirmer l'utilisation saisonnière ou permanente de certains habitats critiques. Ces informations doivent maintenant être compilées dans une base de données rassemblant les résultats de la dernière décennie. Ceux-ci serviront à l'analyse des déplacements des mammifères, comportements qui témoignent d'adaptations de la faune aux changements qui surviennent sur le territoire.

Depuis 2012, une cinquantaine de nouveaux pisteurs, amateurs et professionnels, ont suivi le programme spécialisé de pistage de la FFVR. À partir d'une collection de pattes, de fourrures et de crânes de mammifères du Québec, les pisteurs étudient les caractéristiques physiques des 20 principales espèces du territoire. Les pisteurs transposent ensuite leurs connaissances sur le terrain pour reconnaître les marques ou traces laissées par les animaux lors de leurs comportements de déplacement (pistes et empreintes), d'alimentation (broutage, écorçage, marques de griffes sur un arbre grimpé, carcasse abandonnée, cache, excréments), de communication (frottement, grattage au sol ou sur un arbre, tronc mordu et branches d'arbrisseaux cassées, marquage olfactif avec l'urine ou les excréments) et de repos (couche, terrier, tanière, nid) (figure 3).



Figure 3. Indices de présence faunique (de gauche à droite) : travail de suivi fait par les pisteurs; empreinte d'orignal; piste de lynx roux; écorçage d'orignal.

K. Tinker, L. Gratton, I. Grégoire

Des programmes spécialisés de suivi faunique

En 2017, grâce à l'appui financier de la Fondation de la faune du Québec, des formations spécialisées supplémentaires ont été développées afin de répondre aux besoins des organismes partenaires et d'encourager une relève de pisteurs amateurs. Avec la collaboration de Corridor appalachien, des pisteurs ont appris à utiliser un protocole scientifique de collecte de données des indices fauniques afin de valider les corridors de déplacements des mammifères le long de l'autoroute 10 en Estrie. En 2017-2018, un groupe de 10 pisteurs a effectué 3 suivis aux abords de l'autoroute 10 à Austin, au cours desquels la présence du cerf de Virginie et de l'orignal a été confirmée. Deux formations sont prévues pour l'automne-hiver 2018-2019, et de nouveaux secteurs seront patrouillés selon les besoins identifiés par l'organisme Corridor appalachien.

Finale­ment, le programme de science citoyenne *Stop Carcasses!*, version québécoise du programme *WildPaths* présenté ci-dessous, réunit des communautés du Québec et du Vermont dans un projet d'identification des secteurs clés du réseau routier, dans le but d'aménager des infrastructures adaptées pour réduire les collisions véhicules-faune et améliorer la protection des corridors naturels du territoire.

Le projet WildPaths

Le projet *WildPaths* engage les communautés locales grâce à des actions de science citoyenne visant la collecte de données d'observation de traversées fauniques réussies ou non sur le réseau routier du Vermont (Butler, 2018) (figure 4).

Le projet *WildPaths* a été lancé en 2012 afin de mieux comprendre les déplacements des populations de mammifères à travers le paysage et de fournir des données aux instances responsables de la planification du territoire et de la conservation. Ce travail vise à orienter les actions de conservation des corridors prioritaires utilisés par la faune dans l'ensemble du lien critique des montagnes Vertes du nord (voir la carte dans Gratton et Levine, 2018). En 2015, le projet a été remanié afin d'encourager une plus grande participation bénévole et de rationaliser les protocoles sur la base d'autres projets éprouvés dans la région. Maine Audubon a connu un important succès avec son projet *Wildlife Road Watch* (Maine Audubon, 2018) et CHC a obtenu la permission d'utiliser les mêmes protocoles pour son projet *WildPaths*. Cela a permis également une mise en commun et une comparaison des données récoltées dans l'ensemble de la grande région desservie par l'initiative *Staying Connected*, du Vermont au Maine et maintenant jusqu'au Québec. En 2012, au début du projet, les données n'étaient recueillies qu'en hiver et exigeaient que les bénévoles assistent à une formation détaillée sur la reconnaissance des traces et indices de présence animale, formation semblable aux initiatives de science citoyenne déployées par la FFVR décrites plus haut. Avec l'adoption des protocoles adaptés de Maine Audubon, la période de collecte de données s'est étendue sur toute l'année, afin d'inclure les



Sinton Edwards

Figure 4. Bridget Butler, directrice des programmes de Cold Hollow to Canada, photographie un triton vert écrasé en utilisant l'application *iNaturalist* pour téléphones intelligents, avec ses clés d'auto en guise d'indicateur d'échelle.

saisons pendant lesquelles les espèces visées étaient le plus en mouvement (c'est-à-dire du printemps à l'automne) et les exigences des bénévoles quant à la formation de pistage, ont été réduites. Cela a permis une transition évidente du projet vers la plateforme *iNaturalist*, qui présente un protocole simple et rapide de collecte de données de qualité, à partir d'un téléphone intelligent. Le système de validation par la communauté d'experts et d'amateurs expérimentés sur *iNaturalist* vient soutenir l'identification des espèces fauniques et des traces et indices de présence animale observés.

La zone d'intervention prioritaire du projet *WildPaths* est constituée de sept municipalités du territoire d'action de CHC dans les montagnes Vertes du Nord, soit Richford, Enosburgh, Bakersfield, Montgomery, Fletcher, Waterville et Belvidere. Bien que CHC concentre ses ateliers de formation et autres activités de sensibilisation sur ce territoire d'action, le projet a été conçu de façon à inclure les données récoltées dans tout l'État du Vermont. CHC a reconnu l'importance d'établir le projet à l'échelle de l'État, de sorte que d'autres organisations et communautés s'intéressant au projet n'aient pas à refaire le travail, et que les protocoles existants puissent servir de base commune à la collecte de données dans l'ensemble du Vermont.

Actuellement, la période de collecte de données pour le projet *WildPaths* s'étend d'avril à octobre, mais le partage d'observations en ligne reste possible tout au long de l'année. Les bénévoles peuvent signaler des observations ponctuelles, ou, sur une base mensuelle, lors de leurs patrouilles régulières dans des tronçons de route définis par CHC. Les observations peuvent être recueillies à pied, à vélo ou en voiture. Bien que les bénévoles soient encouragés à utiliser la plateforme *iNaturalist*, le projet autorise le transfert de données par

l'entremise du site Internet de CHC ainsi que par envoi postal. Les champs de données obligatoires comprennent la date, l'heure, la latitude et la longitude de l'observation, le mode de déplacement de l'observateur (vélo, marche, voiture), le statut de l'animal (mort ou vivant), le type de route (pavée ou non, municipale/nationale, etc.) et la présence d'infrastructures particulières (glissières de sécurité, ponceaux, ponts, etc.). Ces champs de données sont cohérents avec ceux d'autres projets d'identification de passages fauniques présents sur *iNaturalist*, tels que l'*Adventure Scientists Wildlife Connectivity Survey*, qui collige des données sur les carcasses d'animaux frappés sur les réseaux routiers à travers le monde (Adventure Scientists, 2018). Le projet *WildPaths* compte actuellement 84 observateurs ayant enregistré 82 espèces, avec un total de 633 observations. Les espèces les plus fréquemment signalées à ce jour sont la salamandre maculée (*Ambystoma maculatum*, 45 observations) et le cerf de Virginie (40 observations), suivies de près par la plupart des espèces communes de reptiles et d'amphibiens, dont le triton vert (*Notophtalamus viridescens*), la couleuvre rayée (*Thamnophis sirtalis*) et la grenouille des bois (*Lithobates sylvaticus*). Par ailleurs, mentionnons les observations, bien que moins fréquentes, de plusieurs espèces ciblées dans le cadre du travail de maintien de la connectivité mené par CHC : le coyote (8 observations), l'orignal (7 observations), l'ours noir (6 observations), ainsi que la loutre de rivière, le vison d'Amérique et le lynx roux (2 observations chacun). Les données du projet *WildPaths* peuvent être consultées sur la plateforme *iNaturalist* en visitant la page du projet¹.

Discussion

La collecte des données réalisée grâce aux projets *WildPaths* et *Stop Carcasses!* se poursuit. Nous serons bientôt en mesure d'identifier les secteurs critiques des corridors de déplacements des mammifères, les principaux sites de traversées printanières des amphibiens, ainsi que les ponts et les ponceaux qui pourraient bénéficier de mesures d'atténuation des impacts pour la faune. En ce qui concerne la gestion du projet, le recrutement, la rétention et la reconnaissance des bénévoles nécessitent un investissement considérable en temps (et donc en argent). L'accessibilité des données pour les participants représente un défi additionnel qui peut, lui aussi, être énergivore et coûteux. L'utilisation de la plateforme *iNaturalist* nous a permis de relever certains de ces défis, car elle réunit une communauté de professionnels et d'amateurs expérimentés qui valident gratuitement les identifications, elle fournit un canal de communication entre les bénévoles et elle permet l'affichage automatique des données sur des cartes, avec des photos et des statistiques.

Dans l'ensemble, l'apport des citoyens scientifiques dans les programmes de suivi faunique représente un potentiel considérable de récolte d'une grande quantité d'observations, en toutes saisons, sur de longues périodes et à peu de frais. Ces données alimentent les analyses des experts du milieu sur la connectivité des habitats fauniques et la résilience de la faune

aux changements actuels et futurs du territoire. Toutefois, afin de compléter le portrait de la répartition (nombre et espèces), de l'utilisation (alimentation, reproduction, communication) et des déplacements des mammifères du territoire d'action, un travail reste à faire pour améliorer la fiabilité des données qui doivent être rigoureusement récoltées par les bénévoles. Déjà, en 2017-2018, le protocole de collecte de données a été uniformisé et simplifié et la formation de pisteurs qualifiés a été améliorée. Finalement, des modèles semblables de programmes de science citoyenne ont été de véritables inspirations. L'*Atlas des oiseaux nicheurs du Québec* est un bel exemple québécois de la contribution monumentale des citoyens dans l'avancement de la science (*Atlas des oiseaux nicheurs du Québec*, 2018). Des milliers d'ornithologues amateurs ont participé à la récolte des données sur la répartition et les comportements de l'avifaune à travers la province, et ont ainsi fourni les bases d'analyse et de recherche sur les moyens de les protéger. Des exemples similaires en botanique et en entomologie (p. ex., *Mission monarque*, 2018) abondent en ce sens.

Conclusion

Dans un contexte de changements climatiques et de développement de stratégies pour protéger et améliorer la résilience des écosystèmes, il devient impératif de se doter d'outils efficaces de suivi faunique des milieux naturels. La science citoyenne propose d'intégrer les compétences de bénévoles adéquatement formés, équipés et orientés pour répondre aux besoins des experts du milieu. Parallèlement, l'implication des citoyens aux avancées scientifiques contribue à accroître la compréhension populaire des enjeux écologiques actuels, à inspirer des interventions conséquentes et à faire émerger une conscience écocitoyenne (Cheriki-Nort, 2010; Goleman et collab., 2012). Enfin, la recherche de solutions innovantes aux problèmes environnementaux actuels, l'acquisition de nouvelles connaissances qui se complexifient et la compréhension du monde naturel en constant changement dépassent le seul travail des scientifiques (Clarke, 2014; Cooper, 2016;). Les citoyens informés, impliqués et conscientisés représentent un puissant levier d'action et de changement pour l'avenir (Morin et Pistoletto, 2015). L'ERE se propose ainsi comme moteur d'engagement des communautés locales et comme stratégie pour l'avancement et la pérennité des projets écologiques de société.

Remerciements

Nous remercions Louise Gratton, cofondatrice de Corridor appalachien et coresponsable des programmes éducatifs de la FFVR; le conseil d'administration de la FFVR, tout particulièrement Marie-Claire Planet, Guy Langevin, Daniel Sultan et Stansje Plantenga; Caroline Daguét, biologiste chez Corridor appalachien; les réviseurs scientifiques du *Naturaliste canadien*; et la Fondation de la faune du Québec pour le soutien financier octroyé en 2017 pour la continuité du programme Faune sans frontières. Cold Hollow to Canada remercie Barbara Charry, responsable du projet *Wildlife Road Watch* de Maine Audubon. ◀

1. <https://www.inaturalist.org/projects/wildpaths-project>

Références

- ADVENTURE SCIENTISTS, 2018. Adventure Scientists – Wildlife connectivity study. Disponible en ligne à : <http://www.adventurescientists.org/wildlife-connectivity.html>. [Visité le 2018-06-28].
- ATLAS DES OISEAUX NICHEURS DU QUÉBEC, 2018. Atlas des oiseaux nicheurs du Québec – Vers une nouvelle étape. Disponible en ligne à : <https://www.atlas-oiseaux.qc.ca>.
- AYLWARD, C.M., J.D. MURDOCH, T.M. DONOVAN, C.W. KILPATRICK, C. BERNIER et J. KATZ, 2018. Estimating distribution and connectivity of recolonizing American marten in the northeastern United States using expert elicitation techniques. *Animal Conservation*. Disponible en ligne à : <https://doi.org/10.1111/acv.12417>.
- BERTEAUX, D., N. CASAJUS et S. DE BLOIS, 2014. Changements climatiques et biodiversité du Québec — Vers un nouveau patrimoine naturel. Presses de l'Université du Québec, Québec, 202 p.
- BUTLER, B., 2018. WildPaths Project. Cold Hollow to Canada et plateforme iNaturalist. Disponible en ligne à : http://bit.ly/iNat_WildPathsVT. [Visité le 2018-03-01].
- CAVALIER, D. et E.B. KENNEDY, 2016. The rightful place of science: Citizen science. Consortium for science, Policy & Outcomes. Arizona State University California, Overlook Press, New York, 133 p.
- [Centr'ERE] CENTRE DE RECHERCHE ET FORMATION EN ÉDUCATION RELATIVES À L'ENVIRONNEMENT ET À L'ÉCOCITOYENNETÉ, 2014-2015. Identités et Engagements : Enjeux pour l'éducation relative à l'environnement. Éducation relative à l'environnement : Regards – Recherches – Réflexions, Vol. 12, 272 p.
- CHERIKI-NORT, J., 2010. Guide pratique d'éducation à l'environnement : entre humanisme et écologie. Collection écologie, Éditions Yves Michel, Montpellier, 259 p.
- CLARKE, C., 2014. Be the change: Saving the world with citizen science. 2^e édition. Éditions Kindle, 78 p.
- COOPER, C., 2016. Citizen Science: How ordinary people are changing the face of discovery. Overlook Press, New York, 294 p.
- CORRIDOR APPALACHIEN, 2018. Plan stratégique 2015-2020. Corridor appalachien, Eastman, Québec, 10 p. Disponible en ligne à : http://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/PlanStrategique_2015-2020.pdf.
- DAGUET, C. et M. LEJÈVRE, 2018. Identification et protection des corridors naturels de part et d'autre de l'autoroute 10 (Estrie et Montérégie Est) et amélioration de sa perméabilité faunique : premiers résultats. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1) : 32-39.
- ELBROCK, M., 2008. Traces d'animaux du Québec. 3^e édition. Éditions Broquet, Saint-Constant, Québec, 360 p.
- [FFVR] FIDUCIE FONCIÈRE DE LA VALLÉE RUITER, 2018. Disponible en ligne à : <http://www.valleeruitter.org/>.
- GAUTHIER, M., 2010. Dépistage et identification génétique du cougour (*Felis concolor*) dans le massif des monts Sutton – Rapport récapitulatif 2001-2010. Envirotel, une division de Genivar, Sherbrooke, 15 p.
- GOLEMAN, D., L. BENNETT et Z. BARLOW, 2012. Ecoliterate: How educators are cultivating emotional, social, and ecological intelligence. San Francisco: Center for Ecoliteracy, Jossey-Bass A. Wiley Imprint, 169 p.
- GRATTON, L., 2003. Le projet du Corridor appalachien : Une stratégie de conservation transfrontalière. *Le Naturaliste canadien*, 127 (1) : 100-105.
- GRATTON, L. et J. Levine, 2018. L'initiative Staying Connected : pour reconnecter la nature et les humains par-delà des frontières. *Le Naturaliste canadien*, 143 (1) : 12-17.
- INATURALIST, 2018. Page d'accueil. Disponible en ligne à : <https://www.inaturalist.org>.
- LAND TRUST ALLIANCE, 2018. What we do. Land Trust Alliance. Disponible en ligne à : <http://www.landtrustalliance.org/what-we-do>. [Visité le 2018-03-01].
- LOUV, R., 2005. Last child in the woods: Saving our children from nature deficit disorder. Algonquin Books of Chapel Hill, Chapel Hill, North Carolina, 323 p.
- MAINE AUDUBON, 2018. Wildlife road watch. Maine Audubon. Disponible en ligne à : www.maineaudubon.org/projects/road-watch. [Visité le 2018-03-01].
- MISSION MONARQUE, 2018. Disponible en ligne à : <http://www.mission-monarch.org/fr/citizen-science/>.
- MORIN, E. et M. PISTOLETTO, 2015. Impliquons-nous ! Dialogue pour le siècle. Éditions Actes Sud, Arles, 96 p.
- MORSE, S.C., 2000. Keeping Track® project & data management protocol. Keeping Track Inc., Vermont, Rapport de formation, 45 p.
- REZENDES, P., 1999. Tracking and the art of seeing: How to read animal tracks and signs. 2^e édition. Éditions Collins, New York, 336 p.
- SAUVÉ, L., I. ORELLANA, C. VILLEMAGNE et B. BARBER, 2017. Éducation, environnement, écocitoyenneté – Repères contemporains. Presses de l'Université du Québec, Québec, 258 p.
- STAYING CONNECTED INITIATIVE, 2018. Staying Connected Initiative – Page d'accueil. Staying Connected Initiative. Disponible en ligne à : <http://stayingconnectedinitiative.org/>. [Visité le 2018-03-01].
- TROMBULAK, S.C., M.G. ANDERSON, R.F. BALDWIN, K. BEAZLEY, J.C. Ray, C. REINING, G. WOOLMER, C. BETTIGOLE, G. FORBES et L. GRATTON, 2008. The Northern Appalachian/Acadian Ecoregion: Priority locations for conservation action. Special Report N° 1, Two Countries, One Forest, 28 p. Disponible en ligne à : https://www.researchgate.net/profile/Robert_Baldwin7/publication/268512683_The_Northern_AppalachianAcadian_Ecoregion_Priority_Locations_for_Conservation_Action/links/546dfabe0cf2bc99c215070e/The-Northern-Appalachian-Acadian-Ecoregion-Priority-Locations-for-Conservation-Action.pdf.
- ZAINO, R., E. SORENSON, D. MORIN, J. HILKE et K. THOMPSON, 2018. Vermont conservation design – Part 2: Natural communities and habitat technical report. Vermont Fish and Wildlife Department et Vermont Department of Forests, Parks and Recreation, 72 p. Disponible en ligne à : <http://anr.vermont.gov/sites/anr/files/maps/biofinder/Vermont%20Conservation%20Design%20-%20Natural%20Community%20and%20Habitat%20Technical%20Report%20-%20March%202018.pdf>.



LA FAUNE, notre mission, notre passion!

Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, pêcheurs et piégeurs, 219 projets de conservation de la faune ont été soutenus en 2017-2018!

- Des initiatives réalisées par des organismes du milieu;
- Sélectionnées avec rigueur par des experts;
- Pour des impacts réels sur les milieux de vie de la faune.

Jocelyne Feïzo / Québec couleur nature

› **Faites partie du mouvement faunique!**

Devenez donateur mensuel:

www.fondationdelafaune.qc.ca/aide/don_mensuel/



Fondation
de la faune
du Québec

ARC

NEW THINKING • NEW METHODS
NEW MATERIALS • NEW SOLUTIONS

Les routes sont l'une des plus grandes menaces mondiales pour les espèces sauvages.

Au Canada, de 1994 à 2004, **le nombre moyen de collisions avec la faune a augmenté de 7,5 % par an**. La plupart impliquent la grande faune, comme le cerf, l'orignal, le wapiti et le bison, qui présentent un risque majeur pour les conducteurs. **Aux États-Unis, les automobilistes tuent chaque année 1 à 2 millions de grands animaux**. Ces accidents entraînent aussi 200 morts humaines et plus de 26 000 blessés, pour des coûts dépassant **8 milliards \$ US**. La mortalité routière menace aussi 21 espèces fauniques désignées menacées ou en voie de disparition.

Des solutions efficaces existent pour contrer ce problème.

Des structures de passage faunique conçues pour assurer la traversée sécuritaire des animaux sur ou sous les routes permettent de **réduire les collisions véhicules-faune jusqu'à 97 %**. Ainsi, si 100 collisions survenaient chaque année sur une route donnée, ce nombre pourrait diminuer à 3 après la mise en place de passages fauniques et de clôtures guidant les animaux vers ces structures.

Inspiré des structures emblématiques de passage faunique érigées dans le parc national de Banff dans l'Ouest canadien, **ARC Solutions a été créé pour encourager la création d'infrastructures publiques** essentielles au déplacement sécuritaire de la faune et pour restaurer la connectivité entre les habitats naturels. Nous souhaitons également stimuler l'émergence de concepts améliorés **pour la prochaine génération de passages fauniques, avec des structures plus innovantes, adaptables, rentables et inspirantes.**

Les partenaires d'ARC Solutions comprennent **des chercheurs et des professionnels reconnus en écologie routière** et qui, ensemble, **cumulent plus de 75 ans d'expérience** sur les passages fauniques, la mise en œuvre de solutions d'atténuation d'impacts des routes sur la faune et le suivi des résultats à long terme.

IMPLIQUEZ-VOUS

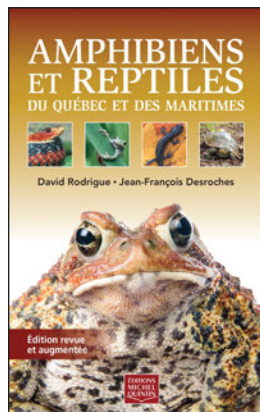
ARC Solutions ne peut pas faire ce travail tout seul! Nous avons besoin de votre aide...

Pour en savoir plus sur la façon d'aider ARC Solutions à rendre les routes plus sécuritaires pour les humains et la faune, visitez :

arc-solutions.org

Les livres

Amphibiens et reptiles du Québec et des maritimes



Les éditions Michel Quintin viennent de publier une deuxième édition, entièrement revue et considérablement augmentée, de leur guide nature sur les amphibiens et les reptiles du Québec et des Maritimes. Il s'agit d'un ouvrage de référence incontournable pour tout naturaliste qui s'intéresse un tant soit peu à la faune, de même qu'aux spécialistes en herpétologie. Cette deuxième édition de 376 pages se distingue notamment par une iconographie exceptionnelle réunissant plus de 540 photos, soit deux fois plus que dans l'édition précédente. Dès les

premières pages, le livre séduit par un montage graphique dynamique, soigné et efficace. Dans l'ensemble du livre, les nombreux plans rapprochés nous font véritablement entrer dans l'univers intime, coloré et étrange des grenouilles, des salamandres, des tortues et des couleuvres. Discrètes, ces créatures sont bien souvent difficiles à débusquer, à observer convenablement ou identifier à l'espèce. Ce guide est donc un compagnon indispensable pour mettre en perspective ses observations par rapport à la taxonomie, aux différents stades de vie, aux variations de coloration et à la diversité des comportements.

En ce qui concerne le contenu, ce guide propose des textes clairs et bien documentés, rédigés par deux spécialistes reconnus, David Rodrigue et Jean-François Desroches. L'ouvrage débute par une introduction d'une quarantaine de pages sur la biologie générale, les trucs d'observation et les enjeux de conservation des amphibiens et des reptiles. En deuxième partie, on trouve un recueil de comptes rendus d'espèces constituant le cœur de l'ouvrage sur plus de 250 pages. Enfin, l'ouvrage se termine avec une série d'annexes et autres compléments d'information sur une cinquantaine de pages. Comme le mentionne l'éditeur, cette dernière partie comporte « des tableaux détaillés et des clés d'identification illustrées pour les différents stades de vie de ces animaux : œufs, larves et adultes ». Bien structurés, les comptes rendus d'espèces fournissent des renseignements pertinents et utiles à l'identification des 20 espèces d'amphibiens et des 20 espèces de reptiles que l'on trouve au Québec et dans les Maritimes. Les fiches documentent également très bien la reproduction, l'alimentation, les prédateurs, l'habitat et le statut de conservation de l'espèce. Enfin, cette deuxième édition présente des cartes à jour de la répartition des espèces s'appuyant sur les toutes dernières données issues de l'*Atlas des amphibiens et reptiles du Québec*.

Si votre connaissance de l'herpétofaune se résume au triton, au crapaud, à la grenouille verte et à la couleuvre rayée, vous serez tout simplement époustoufflé et fasciné par la diversité surprenante des espèces qui habitent nos milieux humides et aquatiques. Certaines de ces espèces comme la couleuvre brune ou la rainette faux-grillon ont d'ailleurs récemment fait les manchettes de l'actualité, sans pour autant qu'on les connaisse vraiment. Les auteurs mentionnent d'ailleurs l'importance de sensibiliser et d'éveiller les consciences, notamment celle des enfants, pour susciter le désir de préserver la faune.

Voilà donc un guide nature qu'on aura le goût de consulter pour mieux comprendre certains enjeux prioritaires de conservation, et même, de

lire d'un couvert à l'autre tout simplement pour le plaisir de découvrir ces animaux fascinants, sans pour autant avoir à se mouiller les pieds. Nul doute que cette nouvelle parution sera un succès, tout comme l'a été l'édition originale et qu'elle « saura combler les passionnées et allumer l'étincelle chez nombre de néophytes », comme le mentionne l'éditeur.

Deux versions de ce guide en format 13 × 21 cm sont disponibles : l'une avec une couverture souple (prix de détail : 34,95 \$) et l'autre avec une couverture cartonnée (prix de détail : 39,95 \$).

Desroches, Jean-François et David Rodrigue, 2018. *Amphibiens et reptiles du Québec et des Maritimes – Édition revue et augmentée*. Guides Nature Quintin, 376 p. ISBN Papier : 978-2-89762-303-6 (couverture souple) et 978-2-89762-302-9 (couverture cartonnée).

Source : Bruno Drolet

Sur la science qui surprend, éclaire et dérange



Qui sommes-nous ? D'où venons-nous ? Où allons-nous ? Si ces questions existentielles vous intéressent, le dernier ouvrage de l'astrophysicien Jean-René Roy, *Sur la science qui surprend, éclaire et dérange*, vous donnera matière à réflexion grâce au regard critique et avisé que l'auteur porte sur l'apport des sciences à notre compréhension du monde.

Jean-René Roy a été professeur en astrophysique à l'Université Laval, où il a participé à la mise sur pied de l'Observatoire du Mont-Mégantic. Il a

aussi été associé à plusieurs grands projets scientifiques internationaux, notamment à titre de directeur scientifique de l'Observatoire Gemini Nord, à Hawaï, et de l'Observatoire Gemini Sud, au Chili. En marge de ses activités de chercheur, il a rédigé cinq livres grand public portant sur l'astronomie et son histoire ainsi que sur les sciences et leur rôle dans la société.

Son sixième ouvrage grand public puise dans les connaissances accumulées au fil de sa longue carrière scientifique et s'articule autour des grands thèmes abordés dans ses œuvres antérieures. Les exemples qui jalonnent l'ouvrage réservent toutefois une bonne place à la biologie. Il y est notamment question des étapes qui ont conduit à la découverte de la structure de l'ADN, de la découverte des éléments transposables du génome, des gènes du rythme circadien, des lois d'échelle dans la nature, de la sélection naturelle comme mécanisme de l'évolution des espèces, de génomique, de génie génétique, de xénotransplantations et de l'origine de l'homme.

Toutes ces avancées scientifiques en biologie se mêlent à d'autres moments choisis issus des domaines de la physique, de l'astrophysique, de la chimie et de la géologie. Le tout, en apparence disparate, sert les fins de l'auteur : faire l'éloge de la curiosité et démontrer que la science est notre meilleur outil non seulement pour comprendre l'univers dans toutes ses ramifications et situer la place de l'humain dans ce grand ensemble, mais aussi pour « vaincre notre ignorance, subjugué nos préjugés et repenser le monde ».

Roy, Jean-René. 2018. *Sur la science qui surprend, éclaire et dérange*. Presses de l'Université Laval, 264 p. Prix de vente suggéré : 24,95 \$.

Source : Jean Hamann

Vie de la Société

Stage photographique à l'île aux Basques

Le stage photographique qui s'est déroulé au Parc naturel et historique de l'Île-aux-Basques, du 9 au 11 juin 2018, a permis à 14 membres de la Société Provancher de parfaire leurs habilités en photographie de nature. Grâce aux ateliers et aux conseils pratiques de deux photographes professionnels, Yvan Bédard et Annie Macfhay, les participants ont pu prendre de magnifiques photos sous toutes sortes de conditions d'éclairage.

Voici ce que Carmen Ricard, une novice tout enchantée de son expérience, a laissé comme commentaire dans le livre de bord du chalet Joseph-Matte où se sont tenus les ateliers :

« Tout y était pour rassasier l'œil, le cœur et l'âme ! L'organisation de Jean-Luc. La générosité d'Yvan, notre prof. La convivialité du groupe. La quiétude de l'île. Et pour les photos : les roches qui s'offrent en oranger, gris, rose ou vert et la voie lactée qui nous permet de rêver ! Merci à tous. »

La photographie de nature constitue une merveilleuse symbiose entre le photographe et la vie sauvage à laquelle il participe. Il existe une grande différence entre un instantané fait rapidement et une photographie de paysage qui immortalise tous les détails d'un instant et d'une ambiance d'éclairage. Une photo de nature est exceptionnelle, car unique et non reproductible. Les plus doués concentrent leurs efforts à documenter des images qui constituent souvent de véritables œuvres d'art.

Une expérience à renouveler absolument, de l'avis de tous.

Source : Jean-Luc Desgranges



Fabienne Racine

Visite de l'école Fernand-Séguin

Cette année, l'école Fernand-Séguin de Québec a souligné la fin de l'année scolaire le 20 juin, à la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher. Accompagnés de leurs professeurs et de parents, quelque 364 enfants du primaire ont fait deux circuits sur le territoire de la Réserve. Cet événement rassembleur était animé par l'équipe de naturalistes de la Maison Léon-Provancher, en collaboration avec 4 bénévoles de la Société Provancher.

Lors de cette balade, les jeunes ont pu découvrir plusieurs habitats. Le circuit sur la digue et sur le sentier de la faune offrait 5 stations. Lors de ces arrêts, les naturalistes de la maison Provancher ont permis de faire de belles découvertes sur les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les insectes. De plus, les enfants sont toujours fascinés par la présence de mésanges à tête noire, souvent très familières, et ils ont été bien comblés. Les canards qui barbotaient au marais ont également attiré leur attention.



Elisabeth Bossert

Quelques-uns des élèves de l'école Fernand-Séguin pendant leur visite à la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher.

Quant aux bénévoles de la Société Provancher, ils ont accueilli les groupes sur le circuit menant au fleuve et en forêt. Ces groupes circulaient en mode autonome et apprenaient à observer la nature autour d'eux, un carnet d'observation leur ayant été distribué auparavant. Des explications sur les marées et sur l'importance des chicots en forêt leur ont également été fournies. Quelques groupes ont même eu la surprise de voir des cerfs de Virginie qui n'étaient pas du tout farouches.

Même si on a eu droit à quelques gouttes de pluie à l'heure du lunch, la visite a permis de bien souligner la fin de l'année scolaire. L'école Fernand-Séguin de Québec est une école primaire à vocation scientifique. Cet établissement vise à créer un milieu de vie reflétant une préoccupation pour les phénomènes scientifiques, tout en stimulant l'intérêt et la curiosité des jeunes envers ceux-ci. Fernand Séguin le disait dans ses mots : « On ne transmet pas une connaissance, on transmet un désir d'apprendre... »

Source : Élisabeth Bossert

Lancement d'un numéro thématique du *Naturaliste canadien* lors des festivités entourant le 20^e anniversaire du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent

Le 22 juin dernier, des représentants de la Société Provancher ont participé à la rencontre organisée par Parcs Canada et la Sépaq lors du lancement des festivités entourant le 20^e anniversaire du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Plusieurs partenaires du parc marin étaient également présents à l'événement.

Dans un premier temps, les codirecteurs du parc, M. Daniel Langlois (Parcs Canada) et M. Daniel Goudron (Sépaq), ont souligné l'unicité de ce parc marin et l'importance du partenariat pour sa gestion. M. Émilien Pelletier, président du comité de coordination du parc marin, a ensuite présenté la programmation du 20^e anniversaire et annoncé la publication du numéro thématique d'été 2018 du *Naturaliste canadien* résumant les 20 ans d'activités de recherche, de conservation et de mise en valeur effectuées dans le parc. Mme Denise Tousignant, rédactrice en chef du *Naturaliste canadien*, a résumé les caractéristiques de la revue et souligné que celle-ci célèbre en 2018 son 150^e anniversaire, puisqu'elle a été fondée par l'abbé Léon-Provancher en 1868.



SEPAQ

Émilien Pelletier accompagné de Denise Tousignant et de Michel Lepage.

Mme Tousignant a exprimé la fierté de l'équipe du *Naturaliste canadien* d'avoir pu être associée au comité de coordination du parc marin pour la publication de ce numéro thématique. Sa production a été une occasion unique de rassembler plusieurs textes autour d'un sujet commun, ce qui a nécessité une planification de longue date et un effort particulier de coordination. Denise Tousignant a souligné la générosité des rédacteurs *ad hoc*, MM. Émilien Pelletier et Pascal Sirois, qui ont su mobiliser 20 auteurs pour la rédaction des 13 articles scientifiques composant le numéro thématique.

M. Michel Lepage a aussi présenté les objectifs de la Société Provancher et remercié le comité de coordination du parc marin pour avoir fait confiance au *Naturaliste canadien* pour cette magnifique publication. Il a, de plus, signalé que la Société Provancher possède l'île aux Basques et les îles Razade, des territoires faisant partie des pôles découvertes du parc marin, et qu'elle est honorée de participer à l'effort collectif des partenaires présents à la rencontre pour éduquer le public à la conservation du milieu marin.

Source : Denise Tousignant et Michel Lepage

Visite du marais de Saint-Antoine-de-Tilly

Le samedi 4 août dernier, les Amis du marais de Saint-Antoine-de-Tilly¹ ont organisé une visite de « leur marais » à l'intention des membres de la Société Provancher. Cette activité était l'occasion d'un rapprochement entre deux organismes partageant les mêmes valeurs et un intérêt manifeste pour le fleuve Saint-Laurent. Rappelons que le marais de Saint-Antoine-de-Tilly est un territoire linéaire de 12 km donnant accès au fleuve, et situé juste en face de la réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher de Neuville.

Lors de cette journée, les membres du conseil d'administration des Amis du marais de Saint-Antoine-de-Tilly ont été particulièrement accueillants, tout comme les spécialistes recrutés pour assurer l'animation.

C'est M. Pierre Marchildon, président de l'organisme, qui a accueilli les participants au quai de la municipalité. Dans un premier temps, il a présenté l'historique et la mission de son organisme. Il a ensuite fait un survol des principales activités réalisées au cours des dernières années, dont le nettoyage des berges, l'embellissement

de parcs, la présentation de conférences, l'inventaire d'oiseaux. Ce travail est appréciable considérant qu'il repose essentiellement sur du bénévolat et sur les liens tissés entre l'organisme et la municipalité de Saint-Antoine-de-Tilly.

M. Jacques Anctil, ornithologue du Club des ornithologues de Québec (COQ), a été le premier spécialiste à partager ses connaissances avec les participants. Cet excellent communicateur connaît bien cette portion du fleuve, tant sur la rive sud que sur la rive nord, ainsi que la richesse et la diversité des observations que l'on peut y faire.

Nous avons aperçu en vol un grand héron, l'emblème des Amis du marais de Saint-Antoine-de-Tilly. Cette année, une douzaine de grands hérons fréquentent le marais qui leur offre une bonne aire d'alimentation. Au cours de notre visite, nous avons également eu la chance de voir quatre grandes aigrettes — dont la présence dans la région est inusitée — ainsi qu'un pygargue à tête blanche. Parmi les autres espèces observées à partir du quai, mentionnons le canard colvert et le goéland à bec cerclé. M. Anctil a insisté sur le fait que cette portion du fleuve constitue une voie de passage importante durant les migrations, tant du printemps que de l'automne. Les intéressés sauront revenir le moment venu!

Mme Audrey Lachance du Bureau d'écologie appliquée (BEA) nous a ensuite entretenus sur les plantes rares de l'estuaire d'eau douce à saumâtre, dont font partie la gentiane de Victorin et la cucitaire de Victorin. Le marais de Saint-Antoine-de-Tilly est dominé par des plantes herbacées bien adaptées aux marées. Nous avons reconnu la berle douce, la sagittaire latifoliée, la zizanie naine et la pontédérie cordée, pour n'en nommer que quelques-unes.

Le BEA participe actuellement à un chantier rassembleur visant à mieux connaître les berges de Saint-Antoine-de-Tilly. Les travaux qu'il y mène comprennent une évaluation des indices de qualité de la bande riveraine, un inventaire des espèces envahissantes, l'élaboration d'un cahier de bonne conduite destiné aux propriétaires riverains ainsi que l'identification de mesures de correction. L'organisme prend à cœur ce travail qui sera déterminant dans le choix de ses futures actions de protection et de mise en valeur.

De son côté, M. François Caron, spécialiste en faune aquatique, a entretenu les participants sur l'état de santé du fleuve et sur les espèces de poissons qui y vivent (perchaude, barbotte, esturgeon, baret, poulamon, éperlan, etc.). Un bref historique a montré l'importance de la pêche comme revenu d'appoint pour les fermiers à une certaine époque. La pêche au moyen de fascines et l'utilisation de lignes mortes à marée basse permettaient de capturer, entre autres, le bar rayé et l'esturgeon.



Elisabeth Bossert

Vue panoramique du marais de St-Antoine-de-Tilly.

1. <https://www.amisdumarais.com/index.htm>

La construction de la voie maritime du fleuve Saint-Laurent, dans les années 1950, et son entretien depuis ce temps ont grandement modifié l'écosystème entier. Parlant de l'habitat du poisson, M. Caron a souligné le succès de la réintroduction, dans les années 1990, du bar rayé, une espèce jadis abondante qui avait complètement disparu du fleuve peu de temps après la construction de la voie maritime. Il a terminé son exposé en mentionnant l'arrivée d'espèces exotiques telles que la moule zébrée et la carpe asiatique, qui méritaient également des suivis.

La visite a pris fin sous le chapiteau de la ferme La Rosée du matin alors qu'un pique-nique était gentiment offert par les Amis de Saint-Antoine-de-Tilly. Au menu : des produits locaux servis dans une ambiance fort cordiale. Les représentants de la Société Provancher ont remercié leurs hôtes et ont annoncé une visite particulière de « leur marais » en 2019 afin de poursuivre ce bon voisinage.

Source : Élisabeth Bossert

La Société Provancher : 100 ans d'engagement pour la nature

La Société Provancher est l'un des plus anciens organismes de conservation privés au Canada. Elle a été fondée le 2 mai 1919, dans l'élan de conservation découlant de la signature, en 1916, de la Convention sur les oiseaux migrateurs. Pour appuyer cette initiative, la Société a acquis les îles Razade en 1927 et l'île aux Basques en 1929. Ces territoires constituent des refuges importants d'oiseaux migrateurs du Canada. L'île aux Basques est également désignée lieu historique national du Canada en raison des artefacts témoignant de la présence des Basques venus chasser les mammifères marins dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent au XVI^e siècle. D'autres territoires ont été acquis au fil des ans.

Après 100 ans, la Société Provancher a toujours pour mission de contribuer à la conservation de la nature et à l'éducation aux sciences naturelles. Pour atteindre ses objectifs, la Société publie *Le Naturaliste canadien*, organise des conférences et des activités éducatives, aménage et entretient ses territoires naturels protégés et met certains d'entre eux à la disposition du public. La Société fonctionne grâce à ses membres, par leurs cotisations, leurs dons et leur travail bénévole. Elle compte aussi sur de fidèles partenaires. Pour souligner son centenaire, la Société Provancher organisera diverses activités en 2019. Soyez du nombre pour participer aux festivités qui sauront certainement vous intéresser!

La cérémonie officielle d'ouverture aura lieu à Québec, le jour même du centenaire de la Société, soit le 2 mai 2019. La contribution des partenaires de la Société et de certains membres ayant eu un impact majeur dans la vie de l'organisme sera alors soulignée. Notons aussi que plusieurs activités populaires seront offertes pendant toute l'année (brunch dominical, journée champêtre, visites de nos territoires, bar des sciences, etc.). De plus, un concours de photos et deux expositions de photos (Trois-Pistoles et Neuville) illustreront les beautés de nos territoires protégés. Finalement, un album souvenir sera édité pour mettre en valeur les réalisations marquantes de la Société Provancher.

Les détails de ces activités seront publiés sur notre site Internet (www.provancher.org) à compter de janvier 1919. Restez à l'affût! Nous espérons vous rencontrer en grand nombre.

Il est à noter que la Société Provancher a préparé une demande de désignation de son centenaire comme événement historique national au Canada. Une telle désignation serait toute une reconnaissance de ses 100 ans d'engagement pour la nature!

Source : Le comité du centenaire de la Société Provancher



Yvan Bédard

Initiation à l'entomologie à la Réserve naturelle du Marais-Léon-Provancher.

NOTRE VRAIE NATURE



Notre pays compte une multitude de milieux naturels parmi les plus exceptionnels au monde. C'est ce qui fait du Canada ce qu'il est, et c'est pourquoi nous œuvrons depuis plus de 50 ans à protéger ces espaces naturels irremplaçables et la faune qu'ils abritent.

Joignez-vous à nous pour la protection du patrimoine naturel canadien à conservationdelanature.ca



CONSERVATION
DE LA **NATURE**
C A N A D A

Animex

Solutions de clôtures pour la faune.

Pourquoi Animex?

- ✓ *Installation facile*
- ✓ *Très durable*
- ✓ *Peu d'entretien*
- ✓ *Testé scientifiquement*
- ✓ *Sans danger pour les animaux*
- ✓ *Exclusion d'une multitude d'espèces*
- ✓ *Fabriqué en Amérique du Nord*

Contactez-nous pour plus d'informations

info@animexfencing.com

www.animexfencing.com



Promouvoir la science de la biodiversité

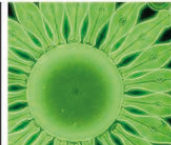
120 chercheurs



700 étudiants



Support à la recherche



Le CSBQ est un partenariat d'universités québécoises et d'autres organisations visant à promouvoir la coopération scientifique et une science intégrée de la biodiversité qui traite de conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité.



CENTRE DE LA **SCIENCE**
DE LA **BIODIVERSITÉ**
DU **QUÉBEC**

Formations



Collaboration scientifique



Colloque annuel

<https://qcbs.ca/fr>



Corridor appalachien
Appalachian Corridor

15 ans
d'innovation
pour protéger
les milieux
naturels
et la
connectivité



corridorappalachien.ca

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



Colloque sur l'écologie routière
et l'adaptation aux changements
climatiques : de la recherche aux
actions concrètes



CONVENTION DE LA POSTE-PUBLICATION NO 40999003
RETOURNER TOUTE CORRESPONDANCE NE POUVANT ÊTRE
LIVRÉE AU CANADA À :
SOCIÉTÉ PROVANCHER
C.P. 1335
PORTNEUF QC G0A 2Y0