

le naturaliste canadien

Volume 146, numéro 2
2022

SOCIÉTÉ PROVANCHER

Revue de diffusion des connaissances en sciences naturelles et en environnement



Dans les profondeurs des lacs des Laurentides, le roc conserve la mémoire des millénaires.

Photo : Jacques Lech



Société
Provancher

Président

Daniel St-Onge

Vice-président

Philippe Arsenault

Trésorière

Catherine Thomassin

Administrateurs

Christine Bélanger

Agathe Cimon

René Nault

le **naturaliste**
canadien

Bureau de direction

Agathe Cimon

Bruno Drolet

Jean Hamann

Claude Lavoie

Pierre Périnet

Yvan Pouliot

Isabelle Simard

Denise Tousignant

Équipe éditoriale

Denise Tousignant,

rédatrice en chef

Martin Lavoie,

rédatteur en chef adjoint

Claude Samson,

rédatteur en chef adjoint

Yan Boucher

François Brassard

Marc-Antoine Couillard

Mathieu Cusson

Christian Hébert

Patrick Lajeunesse

Marc Mazerolle

Stéphanie Pellerin

Martin-Hugues

St-Laurent

Junior Tremblay

**Révision linguistique
et technique**

Louise Champoux

Agathe Cimon

Andrew P. Coughlan

Hélène Lahaise

Émilie Peco

Nancy Pelletier

Pierre Périnet

Yanick Plourde

**Correction
des épreuves**

Marc Dufresne

Hélène Lahaise

Pierre Périnet

Camille Rousseau

Mise en page

Emmanuel Gagnon

Le Naturaliste canadien est recensé par Repères, Cambridge Scientific Abstracts et Zoological Records. La revue 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 2022

Bibliothèque nationale du Québec

© Société Provancher d'histoire

naturelle du Canada 2022

Bibliothèque nationale du Canada

ISSN 1929-3208 (En ligne)

LE MOT DE LA RÉDACTION

Le *Naturaliste canadien* à une table ronde de revues francophones 2
Denise Tousignant et Yvan Pouliot

MILIEUX AQUATIQUES

Inventaire ichthyologique du bassin versant de la zone du Chêne et de la forêt de la Seigneurie de Lotbinière au moyen de l'ADN environnemental 3
François Caron, Martin Laporte et Louis Bernatchez

GÉOMORPHOLOGIE

Sous la surface des lacs des Laurentides: des témoignages de la dernière période glaciaire 19
Benoît Faucher, Jean-Louis Courteau et Bernard Lauriol

HERPÉTOLOGIE

Survie hivernale d'une tortue de Reeves (*Mauremys reevesii*) au Québec 26
Myriame Tanguay, Jean-François Desroches, Étienne Marcotte et Mathieu Ouellette

ORNITHOLOGIE

Densité de population de la chouette rayée (*Strix varia*) au mont Saint-Bruno 30
François Morneau, Pierre Wery et Donald Rodrigue

LES LIVRES

Repenser la conservation de l'environnement 41
Jean Hamann

CONSERVATION

Pierre qu'on grimpe n'amasse pas mousse: conséquences de l'escalade sur la biodiversité associée aux parois rocheuses 42
André-Philippe Drapeau Picard

GENS D'ACTION

Marilou Bourdages (1982-2022): une vie dévouée à la conservation de la biodiversité 54
Brice Caillié, Delphine Favorel et Jean-Philippe Renaut

HOMMAGE

Robert Patenaude (1947-2021): pionnier et mentor de la médecine vétérinaire zoologique et de la faune 56
Guy Fitzgerald

HOMMAGE

Luc Bouthillier (1954-2022): pionnier de la foresterie sociale québécoise 58
Robert Beauregard

LES LIVRES

Le bestiaire innu 2. Les oiseaux, les poissons et les animaux non comestibles 61
Bruno Drolet

LES LIVRES

40 autres plantes envahissantes: protéger la nature aujourd'hui et demain 62
Amélie Picard

LES LIVRES

Attirer les oiseaux chez soi 63
Jean Hamann



Société
Provancher

Le Naturaliste canadien à une table ronde de revues francophones

Le 12 mai dernier, *Le Naturaliste canadien* a été invité à participer à une table ronde dans le cadre du colloque [Sciences ouvertes en français et responsabilités publiques: les revues scientifiques, point nodal de la recherche, mais point aveugle du financement](#) qui s'est tenu lors du 89^e congrès de l'Acfas, aux côtés des revues scientifiques *Éducation relative à l'environnement*, *VertigO* (sciences de l'environnement), *Téoros* (tourisme) et *Tangence* (littérature).

Force était de constater que les défis et les enjeux des revues scientifiques francophones se ressemblent, quelle que soit leur discipline: il faut être visible et reconnu, attirer des manuscrits de qualité, trouver des réviseurs qualifiés (et francophones) pour les évaluer, valoriser et faire reconnaître le travail de l'équipe éditoriale et, bien entendu, obtenir un financement stable et prévisible. Dans un monde où la recherche est dominée par l'anglais et où le facteur d'impact représente encore le principal étalon de mesure du rayonnement des publications scientifiques, les revues francophones nagent en quelque sorte à contre-courant.

Si *Le Naturaliste canadien* choisit de publier uniquement des articles en français, c'est que son équipe croit fermement que c'est la meilleure manière pour la revue de remplir sa mission et de répondre aux enjeux qui préoccupent son lectorat. À l'échelle mondiale, la dominance de l'anglais dans les publications scientifiques favorise les études à portée internationale et l'examen de sujets à une échelle planétaire. Le prix à payer pour cette tendance lourde est celui d'occulter ou de camoufler l'ampleur et la complexité de certains enjeux régionaux ou propres aux minorités linguistiques¹.

Le Naturaliste canadien ne prétend pas faire concurrence à des revues internationales comme *Nature* ou *Science*. Notre revue occupe une niche particulière, se voulant une vitrine pour les sciences naturelles et de l'environnement au Québec. Elle s'adresse d'abord aux scientifiques, chercheurs, gestionnaires et naturalistes de l'est du Canada qui étudient les écosystèmes nord-américains. En ce sens, elle répond à un besoin essentiel. Et cela ne l'empêche pas de rejoindre des lecteurs francophones partout dans le monde et même, de rayonner au-delà de la francophonie, par le biais de résumés et de mots-clés en anglais. De fait, son lectorat ne cesse d'augmenter depuis qu'elle est diffusée en ligne sur la plateforme Érudit².

Ce colloque a lancé une discussion essentielle entre les revues, les universités, les bibliothèques et plusieurs représentants d'organismes subventionnaires et gouvernementaux. Souhaitons que les échanges se poursuivent et qu'ils permettent d'améliorer le soutien aux revues francophones. Pour notre équipe, la participation à cette table ronde a été l'occasion de faire le point et de réfléchir aux moyens d'améliorer le positionnement, le financement et le modèle de diffusion du *Naturaliste canadien*. Restez à l'affût pour savoir où mèneront ces réflexions!

Denise Tousignant et Yvan Pouliot

1. Un autre colloque intitulé [Entre anglicisation de la recherche et libre accès: imaginer l'avenir des revues en sciences humaines et sociales](#) s'est d'ailleurs tenu le 13 mai 2022.

2. Le [Mot de la rédaction du printemps 2021](#) montre bien la progression de nos statistiques de consultation.

Inventaire ichthyologique du bassin versant de la zone du Chêne et de la forêt de la Seigneurie de Lotbinière au moyen de l'ADN environnemental

François Caron*, Martin Laporte* et Louis Bernatchez

Résumé

L'inventaire ichthyologique sur le territoire de l'Organisme de bassins versants (OBV) de la zone du Chêne et de la forêt de la Seigneurie de Lotbinière (FSL) a été réalisé par l'analyse de l'ADN environnemental (ADNe). Le but principal consiste à documenter la diversité et l'abondance relative des poissons dans plusieurs sites de la FSL ainsi qu'en territoire agroforestier, et de comparer la richesse spécifique détectée par l'ADNe à celle obtenue lors d'inventaires antérieurs. Quarante et une espèces de poissons sont présentes sur le territoire, dont l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) et l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*) recherchés par les pêcheurs, ainsi que deux espèces d'un intérêt particulier pour la conservation, le fouille-roche gris (*Percina copelandi*) et le méné bec-de-lièvre (*Exoglossum maxillingua*). Quatre espèces y sont répertoriées pour la première fois. Lorsque la capture de poissons n'est pas nécessaire, l'ADNe est une technique très efficace qui permet de dresser un portrait plus complet des espèces en présence avec un effort d'échantillonnage moindre que les techniques d'inventaires traditionnels, et ce, de manière beaucoup moins invasive.

MOTS-CLÉS : ADNe, conservation, inventaire ichthyologique, poisson, rivière

Abstract

An analysis of environmental DNA (eDNA) was used to document the fish community in the watershed managed by the Organisme de bassin versant de la zone du Chêne and in the Forêt de la Seigneurie de Lotbinière (FSL) (Québec, Canada). The main goal was to document species diversity and relative abundance at different sites within the FSL and in the adjacent agroforestry landscape, and to compare the species richness detected by eDNA with that obtained during previous traditional inventories. Forty-one species of fish were detected, including 2 species sought after by anglers, the brook charr (*Salvelinus fontinalis*) and smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*), and 2 species of particular conservation interest, the channel darter (*Percina copelandi*) and cutlip minnow (*Exoglossum maxillingua*). Four species were new records for the watershed. When fish do not need to be caught, eDNA sampling offers a highly effective and much less invasive means of obtaining a detailed picture of the species present. Furthermore, it requires a lower sampling effort than traditional survey techniques.

KEYWORDS: conservation, eDNA, fish, river, survey

Introduction

Origine et mandat des organismes de bassins versants

En 2009, le gouvernement du Québec a adopté la loi sur l'eau (MELCC, 2009) et a redécoupé le Québec méridional en 40 zones de gestion, chacune prise en charge par un organisme de bassin versant (ROBVQ, 2022). Leurs mandats consistent, entre autres, à « élaborer le plan directeur de l'eau (PDE) pour les bassins versants de leur zone hydrographique en informant et en faisant participer la population » (ROBVQ, 2022).

En 2014, l'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne (OBV du Chêne) a produit un premier PDE qui rapportait la présence connue à ce jour des poissons inventoriés par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et par ses propres inventaires (OBV du Chêne, 2020a). Pour combler certaines lacunes dans ce document, un plan d'action prévoyant la « mise à jour des données ichthyologiques et des données concernant les espèces menacées et vulnérables » a été adopté (OBV du Chêne, 2020b). C'est dans ce cadre qu'il

a été décidé de procéder à un inventaire ichthyologique en utilisant une nouvelle technique plus appropriée pour évaluer la diversité ichthyologique du territoire.

François Caron est biologiste à la retraite du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). Il est membre du conseil d'administration de l'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne, 6375, rue Garneau, Sainte-Croix (Québec) G0S 2H0.

fr1caron@gmail.com

Martin Laporte est biologiste à la Direction de l'expertise de la faune aquatique du MFFP.

martin.laporte@mffp.gouv.qc.ca

Louis Bernatchez est directeur de l'Institut de biologie intégrative et des systèmes à l'Université Laval ainsi que de la Chaire de recherche du Canada en génomique et conservation des ressources aquatiques.

louis.bernatchez@bio.ulaval.ca

* co-premiers auteurs

Importance de l'inventaire de la faune piscicole en rivière

La conservation des ressources halieutiques et fauniques exige, en premier lieu, une connaissance des espèces en présence. L'inventaire exhaustif de la biodiversité des poissons des cours d'eau d'un territoire présente d'importants défis en raison des multiples habitats qui s'y trouvent depuis leur source jusqu'à leur embouchure, souvent à plusieurs kilomètres de distance. La vitesse du courant, en particulier, est variable, influencée non seulement par les précipitations, par le couvert de glace ou sous nos latitudes, par la débâcle printanière, mais aussi par la topographie environnante, la granulométrie des sols et la couverture végétale des berges. La qualité et la quantité des apports d'eau peuvent être également très variables le long du parcours des différents cours d'eau et ne pas convenir à certaines espèces de poissons. Un poisson peut aussi se déplacer d'un habitat à l'autre au cours d'une même année, selon ses besoins vitaux pour trouver des sites d'alimentation, de reproduction ou même des refuges thermiques dont les caractéristiques ne sont pas nécessairement les mêmes pour chacune des espèces (Roussel et Bardonnet, 2002).

Par ailleurs, les techniques d'inventaire de poissons en milieu lacustre, comme le filet maillant et la seine de rivage, sont beaucoup moins performantes en milieu lotique, (c'est-à-dire les ruisseaux et les rivières; Casselman et collab., 1990). La technique la plus utilisée depuis plusieurs décennies, particulièrement pour les inventaires dans les petits cours d'eau au Québec, est la pêche à l'électricité, aussi appelée pêche électrique (PÉ). Celle-ci permet la capture de spécimens, temporairement paralysés par le courant électrique que l'on fait circuler entre une anode et une cathode. Pour inventorier l'ensemble des habitats et obtenir un portrait complet des espèces présentes, il faut alors qu'une équipe, idéalement de trois personnes, se déplace dans plusieurs types d'habitats à plus d'une occasion. Au Québec, cette technique nécessite une formation particulière. De plus, l'obtention d'un permis de bons soins aux animaux et d'un permis SEG (scientifique, éducatif et de gestion faunique) est maintenant exigée pour capturer et manipuler les spécimens récoltés. L'identification des captures peut aussi être laborieuse et requiert généralement une solide expertise taxonomique, particulièrement pour les poissons juvéniles et les espèces de petite taille, comme ceux de la famille des cyprinidés, aux caractéristiques externes parfois semblables d'une espèce à l'autre. Enfin, cette technique de capture peut aussi causer des stress, voire des mortalités indésirables, notamment en présence d'espèces qui revêtent un intérêt particulier pour la conservation.

Dans ce contexte, l'étude actuelle a été entreprise dans le but de : i) documenter la diversité et l'abondance relative des poissons par l'analyse de l'ADN environnemental (ADNe) ; ii) comparer la communauté de poissons de la forêt de la Seigneurie de Lotbinière (FSL) avec celle du milieu agroforestier hors de la FSL ; iii) comparer la richesse

spécifique détectée par l'analyse de l'ADNe à celle obtenue lors d'inventaires antérieurs par diverses autres méthodes.

Qu'est-ce que l'ADNe?

L'ADNe est l'ADN résiduel que les organismes libèrent dans leur environnement sous différentes formes, telles que les cellules cutanées, le mucus, les déchets métaboliques ou encore les gamètes libérés au moment de la reproduction. Au cours de la dernière décennie, l'augmentation fulgurante des connaissances en génétique et l'amélioration constante des séquenceurs d'ADN ont permis de développer cet outil très performant pour identifier l'ADN des organismes présents dans l'environnement (Deiner et collab., 2021). Dans les systèmes lotiques, il est possible de recueillir de l'ADN d'individus se trouvant plus en amont dans le cours d'eau en plus de celui des individus présents au site d'échantillonnage. L'utilisation d'amorces génétiques spécifiques à une espèce permet d'amplifier, puis de séquencer son ADN en ne récoltant que quelques centaines de millilitres d'eau. Il est alors possible de détecter la présence d'une espèce et d'estimer son abondance en utilisant le nombre de séquences d'ADN trouvées dans l'échantillon. Il est aussi possible d'obtenir un portrait global de la biodiversité d'un groupe taxonomique donné en utilisant i) des amorces génétiques permettant d'amplifier et de séquencer l'ADN de l'ensemble du taxon étudié présent dans un environnement donné et ii) une base de données de référence permettant d'associer les séquences d'ADNe à chacune des espèces du taxon étudié (Deiner et collab., 2017).

L'analyse de l'ADNe est rapidement devenue très utile pour les inventaires en eau douce puisqu'elle est moins coûteuse que les techniques conventionnelles et qu'elle ne demande pas de sacrifier des individus. De plus, cette technique pourrait mieux détecter l'ensemble des espèces présentes que les méthodes conventionnelles, soit la PÉ, les filets maillants, les pièges de capture et les inventaires en apnée (Kelly et collab., 2014; Taylor et Gemmill, 2016). Au Québec, des études récentes réalisées dans les laboratoires de l'Institut de biologie intégrative et des systèmes (IBIS¹) ont démontré l'efficacité de l'analyse de l'ADNe en lac et en rivière pour détecter et estimer l'abondance d'une espèce de poisson (Lacoursière-Roussel et collab., 2016; Laporte et collab., 2020) et pour documenter la composition en espèces des communautés de poissons, autant à des petites qu'à de grandes échelles spatiales (Afzali et collab. 2021; Berger et collab., 2020; Boivin-Delisle et collab., 2021; Garcia-Machado et collab., 2022; Laporte et collab., 2021). Bien que notre étude soit dirigée vers l'inventaire des poissons, les amorces génétiques utilisées peuvent également permettre de détecter la présence de certains autres vertébrés, y compris des mammifères, des oiseaux et des amphibiens qui utilisent les cours d'eau.

Aire d'étude

Le cadre écologique du Québec permet de situer la zone à l'étude dans la province naturelle des basses-terres du Saint-Laurent, là où vit la majorité de la population du Québec (Ducruc et collab., 2019). Les rives des ruisseaux et des rivières

1. <http://www.ibis.ulaval.ca/>

sont en grande partie déboisées, parfois même bétonnées. Leur lit est souvent creusé et redressé pour faire place à l'agriculture, aux industries et aux milieux urbains qui occupent plus de la moitié du territoire (Li et collab., 2019). Le fleuve Saint-Laurent et ses principaux tributaires ont subi de grandes modifications à la suite du creusage et de l'entretien de la voie maritime, de la construction de ports et de l'apport des eaux usées des municipalités riveraines dont la qualité est parfois douteuse (Giroux, et collab., 2016). Il n'est donc pas étonnant que l'habitat d'eau douce des 8 espèces de poissons menacés ou vulnérables au Québec se situe dans les basses-terres du Saint-Laurent (MFFP, 2021).

L'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne

L'OBV du Chêne couvre une superficie de 1 182 km² sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, à une quarantaine de kilomètres en amont de la ville de Québec (OBV du Chêne, 2020a). Elle s'étend d'ouest en est depuis Leclercville jusqu'à la partie est de la ville de Lévis (figure 1). La rivière du Chêne constitue son plus important cours d'eau, parcourant plus de 100 km depuis sa source au pied des Appalaches à Sainte-Agathe-de-Lotbinière jusqu'à son embouchure à Leclercville, où

elle se déverse directement dans la partie fluviale (eau douce) du Saint-Laurent sous l'influence des marées. Les poissons peuvent donc circuler librement du fleuve vers la rivière du Chêne. Par contre, ce n'est pas le cas pour les autres bassins de drainage de plus petites superficies, comme ceux de la rivière du Petit Saut, de la rivière Aulneuse, du ruisseau Beaudet et d'une vingtaine d'autres petits ruisseaux. En effet, une chute ou une cascade près de leur embouchure restreint ou bloque la connectivité du fleuve vers ces affluents pour les poissons (OBV du Chêne, 2020a). Nous avons inclus ces cours d'eau dans l'inventaire afin d'avoir un meilleur aperçu de la diversité ichtyologique sur le territoire.

La forêt de la Seigneurie de Lotbinière

Située au sud-ouest de la zone à l'étude, dont 70 % à l'intérieur de l'OBV du Chêne, la FSL, d'une superficie de 163 km², contraste avec le reste du territoire en étant la plus grande forêt d'un seul tenant de l'ensemble des basses-terres du Saint-Laurent. Elle est baignée par la rivière du Chêne et par plusieurs de ses tributaires. Dans sa partie nord-ouest, deux ruisseaux y prennent naissance, mais se déversent dans le bassin versant de la petite rivière du Chêne sur le territoire de l'OBV du GROBEC (figure 1). Les rives boisées des cours d'eau y ont été relativement bien protégées de l'exploitation

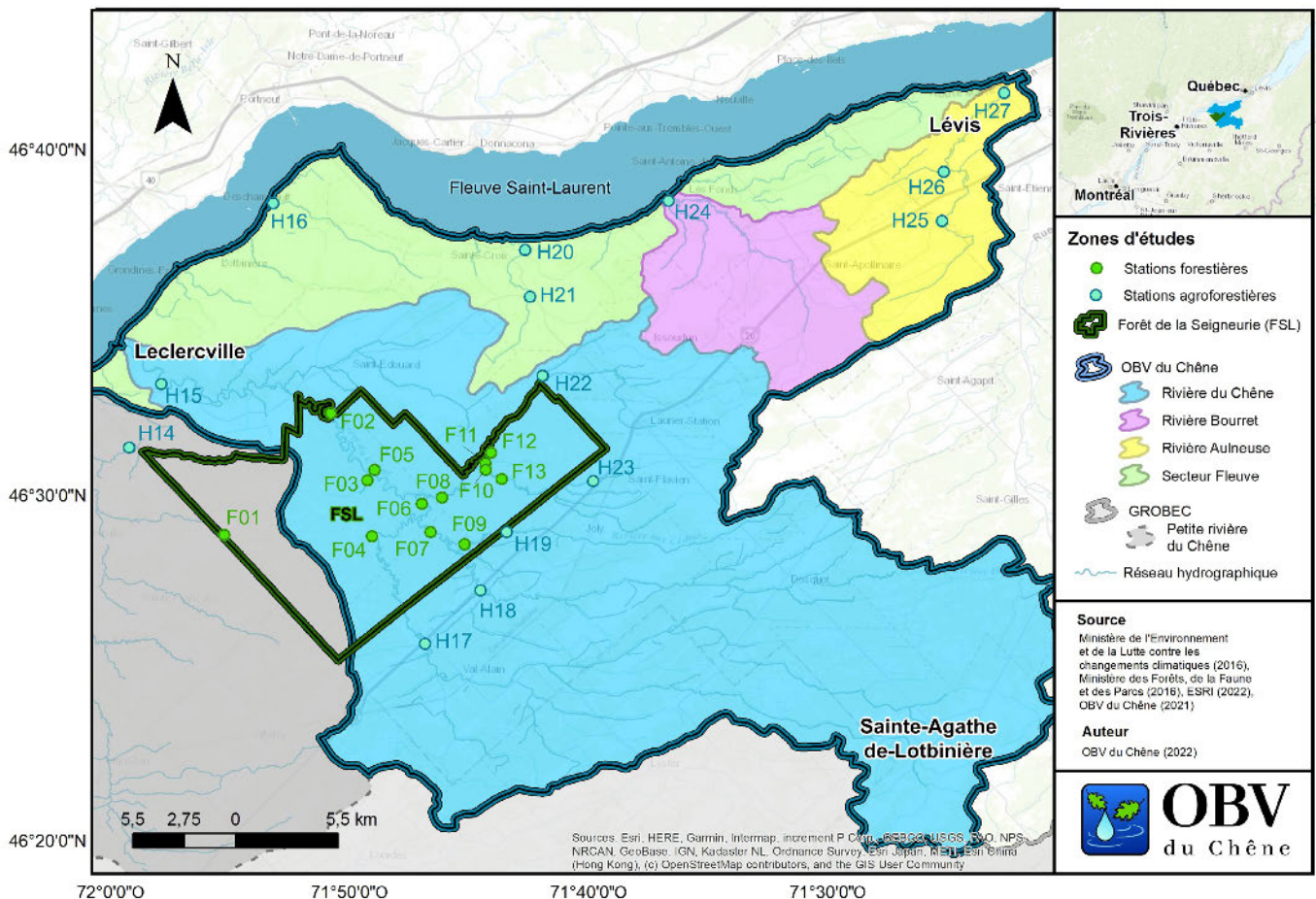


Figure 1. Carte montrant l'emplacement des sites d'échantillonnage des bassins versants de l'OBV du Chêne et de deux sites d'échantillonnage qui se déversent dans la petite rivière du Chêne.

forestière, du fait que les berges aux pentes fortement inclinées sont peu propices à la construction de routes et à la récolte de bois. La pente des rivières y est faible et ne comporte pas de chutes susceptibles de présenter un obstacle à la libre circulation des poissons jusqu'aux stations d'échantillonnage.

Aucun lac de plus de 0,03 km² ne se trouve dans le territoire à l'étude, seulement quelques étangs. Des roches d'origine sédimentaire, dominées par des shales et des grès, constituent l'essentiel du socle rocheux recouvert d'une couche d'épaisseurs variables d'argiles marines, de sables marins ou littoraux et de tills glaciaires, plus ou moins remaniés par les eaux de la mer de Champlain, et de plusieurs tourbières (OBV du Chêne, 2020a). Hormis la FSL qui est une forêt publique, la majeure partie du territoire est de tenure privée et principalement vouée à la production agricole et forestière (OBV du Chêne, 2020a).

Méthode

Échantillonnage

Du 1^{er} au 6 août 2019, des échantillons de 250 ml d'eau ont été prélevés et filtrés à l'aide de seringues puis préservés dans des billes desséchantes, en provenance de 27 stations: 13 en milieu boisé dans la FSL, notées d'ouest en est de F01 à F13, et 14 hors de la FSL en milieu agricole ou agroforestier, notées de la même façon de H14 à H27 (tableau 1). Les stations F01 et H14 sont liées de près à la FSL, mais appartiennent au bassin versant de la petite rivière du Chêne, à l'ouest de l'OBV du Chêne. Toutes ces stations se trouvent en dehors de la zone d'influence des marées.

Huit témoins de terrain constitués de 250 ml d'eau distillée, manipulés de la même manière que les échantillons de terrain, ont également été prélevés afin de quantifier le niveau

Tableau 1. Position géographique des stations d'échantillonnage. La lettre F est utilisée pour les stations dans la FSL, et la lettre H, pour les stations en dehors de celle-ci.

Station	Rivière	Longitude	Latitude	Commentaire
F01	Bras du Nord Riv. aux Ormes (ouest)	-71,9231	46,4823	Bassin versant petite riv. du Chêne
F02	Rivière du Chêne	-71,8557	46,5407	
F03	Ruisseau de l'Ours	-71,8238	46,5095	
F04	Ruisseau de la constance	-71,8185	46,4832	
F05	Cours d'eau sans nom	-71,8179	46,5155	Connecté à la rivière du Chêne
F06	Rivière du Chêne	-71,7863	46,4994	Aval rivières Henri et Huron
F07	Rivière Henri	-71,7792	46,4860	
F08	Rivière Huron	-71,7713	46,5020	
F09	Rivière aux Cèdres	-71,7558	46,4797	
F10	Rivière aux Ormes	-71,7420	46,5165	
F11	Cours d'eau sans nom	-71,7403	46,5187	Connecté au ruisseau Gagnon
F12	Cours d'eau sans nom	-71,7375	46,5237	Connecté au ruisseau Gagnon
F13	Rivière aux Ormes	-71,7295	46,5113	
H14	Ruisseau de l'Espérance	-71,9913	46,5237	Bassin versant petite riv. du Chêne
H15	Rivière du Chêne	-71,9689	46,5547	Moulin du Portage
H16	Ruisseau Saint-Eustache	-71,8925	46,6430	Près du fleuve, amont de la chute
H17	Rivière du Chêne	-71,7802	46,4311	
H18	Rivière Henri	-71,7438	46,4577	
H19	Rivière aux Cèdres	-71,7263	46,4861	
H20	Rivière du Petit Saut	-71,7161	46,6226	Près du fleuve, amont de la chute
H21	Rivière du Petit Saut	-71,7122	46,6000	
H22	Rivière Huron	-71,7027	46,5616	
H23	Rivière aux Ormes	-71,6658	46,5114	
H24	Rivière Bourret	-71,6162	46,6468	Près du fleuve, amont de la chute
H25	Rivière Aulneuse	-71,4244	46,6389	
H26	Rivière des Moulanges	-71,4237	46,6626	Tributaire de la rivière Aulneuse
H27	Rivière Aulneuse	-71,3816	46,7014	

d'ADN contaminant résiduel dans le matériel de terrain ainsi que dans l'équipement de filtration.

Extraction et amplification de l'ADNe

L'ADNe a été extrait dans les laboratoires de l'IBIS à l'aide des kits QIAshredder et DNeasy Blood and Tissue kit (Qiagen) tels que décrits par Goldberg et collab. (2011) et utilisés en routine dans nos travaux précédents (Berger et collab., 2020; Laporte et collab., 2021). L'ADNe ainsi extrait a été congelé à -20°C jusqu'à son amplification par la méthode en chaîne par polymérase (PCR, pour *polymerase chain reaction*). Pour chaque série d'extraction, un contrôle négatif (sans ADN) a été intégré afin d'identifier les possibles contaminations en laboratoire lors de cette étape.

Afin d'éliminer toute contamination possible au laboratoire, les amplifications d'ADN réalisées par réactions PCR ont été effectuées sous une hotte traitée aux rayons UV avec du matériel stérile (javellisé et/ou traité aux UV). Les amorces utilisées amplifient une région hypervariable du gène 12S de l'ADN mitochondrial (Miya et collab., 2015; MiFish-U-F 5'-GTC GGT AAA ACT CGT GCC AGC-3'; MiFish-U-R 5'-CAT AMitoGT GGG GTA TCT AAT CCC AGT TTG-3'). Aux amorces présentées ci-dessus, est ajouté un identifiant unique pour chaque échantillon, lequel permet de regrouper ceux provenant de plusieurs stations et de les séquencer sans en perdre l'identité. De plus, un contrôle négatif de PCR est ajouté afin de vérifier la présence possible de contamination. Chaque réaction PCR comprend 12,5 μl de Qiagen MasterMix, 2 μl de chaque amorce (10 μM), 5,5 μl de dH_2O et 3 μl d'ADNe. L'amplification suit le programme suivant : 15 min à 95°C , 35 cycles d'amplification (30 s à 94°C , 90 s à 65°C , 60 s à 72°C) et un délai additionnel de 10 min à 72°C . Cinq répétitions par échantillon sont ainsi amplifiées, et par la suite, regroupées afin de vérifier la présence de produits amplifiés sur gel d'électrophorèse (absence de produits amplifiés [amplicon] pour les contrôles négatifs). Une fraction de chaque échantillon amplifiée est ensuite nettoyée par billes (Axygen) en suivant le protocole du fabricant, éluée dans 35 μl d'eau et quantifiée par méthode de fluorescence. L'ensemble de la collection d'échantillons a été préparé de façon à ce que chaque échantillon soit représenté par la même quantité d'ADN amplifié.

Séquençage

Le séquençage a été réalisé à la plateforme d'analyses génomiques de l'IBIS sur un séquenceur MiSeq d'Illumina (réactifs V3, Illumina, San Diego, É.-U.) selon un protocole en usage sur cette plateforme.

Bio-informatique

L'analyse des séquences obtenues consiste à rechercher la correspondance à l'espèce parmi les séquences 12S disponibles dans les bases de données MitoFish (Iwasaki et collab., 2013) et GENBank (Benson et collab., 2013), combinées à notre propre banque de données de références². Les données ont été analysées à l'aide du pipeline BARQUE,

mis au point par É. Normandeau dans notre laboratoire², qui rivalise d'efficacité avec les pipelines similaires couramment en usage tout en étant plus rapide (Mathon et collab., 2021).

En résumé, les amplicons d'ADNe sont séquencés, puis les lectures d'ADN sont filtrées afin de retirer les séquences des amorces ajoutées lors de la PCR et les portions de mauvaise qualité. Pour chaque amplicon, les deux lectures (sens 3' et 5') sont ensuite combinées. Seules les séquences d'amplicons avec la bonne longueur sont conservées. Les chimères potentielles (erreurs d'amplification), issues de la réaction de PCR, sont retirées. Finalement, chaque séquence est comparée à la base de données 12S décrite ci-haut afin de l'assigner à une espèce. Pour obtenir une identification positive, le degré de similarité minimale entre la séquence obtenue et celles présentes dans les bases de données de référence est fixé par convention à 97 %. Les espèces représentées par moins de 10 lectures par site d'échantillonnage n'ont pas été retenues pour l'analyse afin de limiter l'occurrence de faux positifs dans la base de données analysée tout en permettant de conserver les espèces qui sont peu abondantes ou qui sont éloignées du site d'échantillonnage. Ce seuil a été choisi afin de ne pas rater les occurrences d'ADNe d'espèces rares ou ayant un statut de conservation.

Analyses statistiques

Afin de comparer la structure des communautés de poissons entre les sites FSL et hors FSL, une analyse en composantes principales (ACP) a été produite à l'aide du logiciel R après avoir effectué, comme il est recommandé dans la littérature, une transformation Hellinger sur les données brutes (Laporte et collab., 2021; Legendre et Legendre, 1998; R Core Team, 2018). Les composantes principales (CP), expliquant une partie non aléatoire de la variation des communautés d'espèces selon un test de bâton rompu (Legendre et Legendre, 1998), ont été extraites. Sur chacune de celle-ci, le test t de Student a été effectué afin de vérifier la présence d'une différence de communautés de poissons entre ces deux groupes (FSL et hors FSL). La méthode de Bonferroni a été utilisée afin de corriger les valeurs de probabilités (P) pour les tests multiples. Finalement, pour les CP montrant une différence significative de communautés de poissons entre les groupes, les espèces contribuant à cette différence ont été identifiées (contribution $> 0,1$).

Résultats

Les 8 témoins de terrain, avec un nombre moyen de 590 séquences chacun, ainsi que les témoins de laboratoire avec un nombre moyen de 2 séquences seulement, démontrent une faible contamination de 0,3 % par rapport au nombre moyen de séquences, qui se chiffre à 203 400 par échantillon. Nous avons extrait pour chaque espèce le nombre de séquences maximales parmi les témoins afin de le déduire dans la base de données (minimum de 0). Les 5 491 898 séquences attribuées à des poissons obtenues sur l'ensemble des 27 échantillons ont pu être associées à 41 espèces, et 8 échantillons, à une combinaison

2. <https://github.com/enormandeau/barque>

de 2 espèces non différenciées (tableau 2). Afin de simplifier les analyses subséquentes, 6 de ces combinaisons, impliquant un total de 4 972 séquences (0,09%) et dont les espèces combinées étaient aussi présentes en tant que groupe spécifique, ont été retirées de la base de données. Les 2 combinaisons conservées sont celles du chabot visqueux (*Cottus cognatus*) et du chabot tacheté (*C. bairdi*), 2 espèces dont la présence est confirmée dans la zone à l'étude, mais dont la séquence ADN est la même, ainsi que celles du fouille-roche gris (*Percina copelandi*) et du fouille-roche zébré (*P. caprodes*) comportant des séquences d'ADN similaires qui sont aussi difficiles à différencier. Cependant, plusieurs des séquences « *Percina* » ont pu être assignées avec confiance à l'une ou l'autre de ces 2 espèces. Conséquemment, puisque le fouille-roche gris est une espèce inscrite sur la liste des espèces vulnérables au Québec, les séquences spécifiquement associées à l'une de ces 2 espèces, avec un taux de confiance au-dessus de 97 %, ont aussi été conservées afin d'identifier des sites où le fouille-roche gris pourrait être présent. En fin de compte, la base de données inclut un total de 5 486 926 séquences représentant 41 espèces de poissons (tableau 2). Quarante d'entre elles se trouvent sur le territoire de l'OBV du Chêne et une autre, le méné à museau noir (*Notropis heterolepis*), uniquement sur le territoire de l'OBV du GROBEC. Toutes ces espèces sont indigènes au Québec (tableau 2).

Le nombre de séquences brutes détectées n'est pas une mesure directe de l'abondance d'une espèce : certaines peuvent relarguer plus d'ADN que d'autres, se trouver plus près du point d'échantillonnage ou encore être dans une période où elles libèrent plus d'ADN dans l'environnement, par exemple au moment de l'alimentation ou de la reproduction (Deiner et collab., 2017). Comme l'ADN est amplifié en laboratoire pour en permettre la lecture, le nombre de séquences détectées constitue tout de même un indice fiable permettant de comparer l'abondance relative d'espèces entre des stations et entre les espèces au sein d'une même station (Berger et collab., 2020; Laporte et collab., 2021). Le nombre brut de séquences détectées par espèce à chacune des stations est présenté aux tableaux 3a et 3b.

Analyses comparatives des communautés de poissons dans la FSL et hors FSL

De l'analyse en composantes principales (ACP) sur les 27 sites d'échantillonnage, 4 CP ont été conservées suivant l'analyse de bâton rompu. Ces 4 CP représentent 77,3 % de la variation en ADN des communautés d'espèces (CP-1 : 42,7 % ; CP-2 : 14,9 % ; CP-3 : 11,6 % ; CP-4 : 8,2 %). De ces CP, seule la deuxième montre une différence significative, après correction de Bonferroni, entre les sites FSL et hors FSL ($t = 2,77$; $P = 0,011$; seuil $\alpha = 0,05/4$, soit 0,0125 ; figure 2). Les sites de la FSL montrent une association prépondérante avec un total de 7 espèces, incluant le raseux-de-terre noir (*Etheostoma nigrum* ; contribution de 0,32), le mullet à cornes (*Semotilus atromaculatus* ; 0,26), le dard barré (*Etheostoma flabellare* ; 0,25), l'épinoche à cinq épines

Tableau 2. Liste alphabétique des espèces de poissons répertoriées. L'astérisque (*) indique les espèces nouvellement reconnues sur le territoire grâce à l'ADNe.

Nom commun	Nom latin
Achigan à petite bouche	<i>Micropterus dolomieu</i>
Anguille d'Amérique	<i>Anguilla rostrata</i>
Barbotte brune	<i>Ameiurus nebulosus</i>
Barbotte des rapides	<i>Noturus flavus</i>
Barbue de rivière *	<i>Ictalurus punctatus</i>
Chabot tacheté	<i>Cottus bairdii</i>
Chabot visqueux	<i>Cottus cognatus</i>
Chevalier blanc	<i>Moxostoma anisurum</i>
Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>
Crapet de roche	<i>Ambloplites rupestris</i>
Dard barré	<i>Etheostoma flabellare</i>
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>
Doré noir	<i>Sander canadensis</i>
Épinoche à cinq épines	<i>Culaea inconstans</i>
Fouille-roche gris	<i>Percina copelandi</i>
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>
Lamproie de l'Est	<i>Lampetra appendix</i>
Lamproie marine *	<i>Petromyzon marinus</i>
Lotte	<i>Lota lota</i>
Méné à grosse tête	<i>Pimephales promelas</i>
Méné à museau arrondi	<i>Pimephales notatus</i>
Méné à museau noir	<i>Notropis heterolepis</i>
Méné à nageoires rouges	<i>Luxilus cornutus</i>
Méné à tête rose	<i>Notropis rubellus</i>
Méné bec-de-lièvre	<i>Exoglossum maxillingua</i>
Méné bleu *	<i>Cyprinella spiloptera</i>
Méné jaune	<i>Notemigonus crysoleucas</i>
Meunier noir	<i>Catostomus commersonii</i>
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>
Mulet à cornes	<i>Semotilus atromaculatus</i>
Mulet de lac *	<i>Couesius plumbeus</i>
Mulet perlé	<i>Margariscus margarita</i>
Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>
Naseux noir	<i>Rhinichthys atratulus</i>
Ombre de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>
Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>
Ouitouche	<i>Semotilus corporalis</i>
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>
Raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma olmstedii</i>
Raseux-de-terre noir	<i>Etheostoma nigrum</i>
Umbre de vase	<i>Umbra limi</i>

Tableau 3. Nombre de séquences d'ADN détectées (ADN total) a) dans la FSL; b) en dehors de la FSL. L'ordre de présentation est celui du nombre total décroissant de séquences pour l'ensemble des 27 stations.

Nom latin	Nom commun	ADN total	Station												
			F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13
<i>Semotilus atromaculatus</i>	Mulet à cornes	874 496	116 888	313	197 258	63 871	112 787	1947	4157	38 574	78 829	51 140	69 654	108 073	31 005
<i>Catostomus commersonii</i>	Meunier noir	374 353	7 673	17 270	8 990	90 073	46 830	16 381	12 143	51 295	16 225	55 280	11 969	3 231	36 993
<i>Rhinichthys cataractae</i>	Naseux des rapides	154 442	1 110	29 826	67	601	83	29 962	11 057	18 444	9 450	8 944	2 778	1 408	40 712
<i>Etheostoma nigrum</i>	Raseux-de-terre noir	145 707	1 606	2 504	23	33 230	32	3 273	20 205	15 813	22 781	23 814	24	14	22 388
<i>Rhinichthys atratulus</i>	Naseux noir	181 363	453	31	963	20	86	10	776	5 470	6 069	143 977	5 506	18 002	
<i>Etheostoma flabellare</i>	Dard barré	197 898	25 514	30 404	534	9 642	21	35 730	23 096	5 579	24 386	6 028	334	12	36 618
<i>Percina caprodes/P. copelandi</i>	Fouille-roche zébré et/ou gris	191 922	30	66 826	242			72 910	40 038	10 623	1 088	143	22		
<i>Semotilus corporalis</i>	Ouitouche	142 194	408	14 490	227	7 839	26	35 748	39 999	22 966	19 921	526	19	25	
<i>Micropterus dolomieu</i>	Achigan à petite bouche	111 364	29	29 941	53			18 059	50 799	11 868	498	102	15		
<i>Luxilus cornutus</i>	Méné à nageoires rouges	57 186	8 721	383	13	8 967	22	9 526	2 328	10 209	4 963	9 148	37	11	2 858
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Omble de fontaine	138 744	42	66	6 765	251	58	57	37	81	232	407	11 096	119 073	579
<i>Culaea inconstans</i>	Épinoche à cinq épines	49 124	4 989		22 552	1 931	18 468					40	1 020		124
<i>Margariscus margarita</i>	Mulet perlé	41 091	27 706		13 385										
<i>Cottus bairdii/C. cognatus</i>	Chabot tacheté et/ou visqueux	5 640	5 640												
<i>Percopsis omiscomaycus</i>	Omisco	15 434		3 296					194	4 652		5 953			1 339
<i>Umbra limi</i>	Umbre de vase	26 849	2 156	151	650	742				60			2 123	20 859	108
<i>Pimephales promelas</i>	Méné à grosse tête	13 892	71		81	13 740									
<i>Etheostoma olmstedi</i>	Raseux-de-terre gris	2 780	883	10	89			45	63	419	59	1 054			158
<i>Catostomus catostomus</i>	Meunier rouge	2 481	36	380	224	235	48	317	62	596	182	180	65	38	118
<i>Noturus flavus</i>	Barbotte des rapides	7 916		3 456				2 928	1 383	149					
<i>Notropis rubellus</i>	Méné à tête rose	5 022		1 304				2 784	870	64					
<i>Exoglossum maxillingua</i>	Méné bec-de-lièvre	2 065						1 183	802	80					
<i>Lota lota</i>	Lotte	397		296				101							
<i>Percina caprodes</i>	Fouille-roche zébré	1 923		756				522	492	93	60				
<i>Ambloplites rupestris</i>	Crapet de roche	409						150	196	63					
<i>Ameiurus nebulosus</i>	Barbotte brune	1 016	92		860			39			25				
<i>Ictalurus punctatus</i>	Barbue de rivière	770		119	651										
<i>Moxostoma anisurum</i>	Chevalier blanc	644		55				480		109					
<i>Perc. flavescens</i>	Perchaude														
<i>Pimephales notatus</i>	Méné à museau arrondi	218								218					

Tableau 3. Nombre de séquences d'ADN détectées (ADN total) a) dans la FSL ; b) en dehors de la FSL. L'ordre de présentation est celui du nombre total décroissant de séquences pour l'ensemble des 27 stations (suite).

a)

Nom latin	Nom commun	ADN total	Station															
			F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13			
<i>Sander vitreus</i>	Doré jaune	122		122														
<i>Percina copelandi</i>	Fouille-roche gris	653		211					227	176	39							
<i>Petromyzon marinus</i>	Lamproie marine	842	53	10		623			10	25	27	94						
<i>Lampetra appendix</i>	Lamproie de l'Est	511	16		419	21					24	31						
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	Méné jaune	193				193												
<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	Chevalier rouge	165		165														
<i>Coxeius plumbeus</i>	Mulet de lac	79		24					16							22	17	
<i>Sander canadensis</i>	Doré noir	156		156														
<i>Anguilla rostrata</i>	Anguille d'Amérique																	
<i>Cyprinella spiloptera</i>	Méné bleu																	
<i>Norropis heterolepis</i>	Méné à museau noir	24	24															
Total de chaque station		2 750 085	204 140	202 565	237 722	234 543	192 135	232 442	208 171	192 821	184 169	168 953	243 155	258 267	191 002			

Tableau 3. Nombre de séquences d'ADN détectées (ADN total) a) dans la FSL ; b) en dehors de la FSL. L'ordre de présentation est celui du nombre total décroissant de séquences pour l'ensemble des 27 stations (suite).

Nom latin	Nom commun	ADN total	Station													
			H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27
<i>Semotilus atromaculatus</i>	Mulet à cornes	709059	55795	330	20054	11221	5157	71131	75623	105546	51299	82869	18086	75096	78178	58674
<i>Catostomus commersonii</i>	Meunier noir	383744	14405	44790	88754	26182	5274	23516	28053	15899	20042	26424	13687	18344	8273	50101
<i>Rhinichthys cataractae</i>	Naseux des rapides	526559	1964	56759	65227	13268	42130	5840	41826	17306	17889	12813	160815	7118	32546	51058
<i>Etheostoma nigrum</i>	Raseux-de-terre noir	198499	26773	3967	15	34358	11965	39792	14	54097	24270	3209			12	27
<i>Rhinichthys atratulus</i>	Naseux noir	151541	20852	187	1131	79	329	2759	5661	4424	531	14158	21015	8560	43648	28207
<i>Etheostoma flabellare</i>	Dard barré	111130	36037	4074	11	33791	27678	10	19	3427	370	5703			10	
<i>Percina caprodes/P. copelandi</i>	Fouille-roche zébré et/ou gris	108243	14	69454		29994	8667	10		15	56	11				22
<i>Semotilus corporalis</i>	Ouitouche	120161	28	13795	1635	55075	44497	4702		12	375	17			11	14
<i>Micropterus dolomieu</i>	Achigan à petite bouche	119899		53440		16838	49576			25	10					10
<i>Luxilus cornutus</i>	Méné à nageoires rouges	117560	17254	196	1727	7561	2047	14246	15309	5698	6062	5690	3227	11967	7283	19293
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Omble de fontaine	8635	5096	75	69	325	140	83	54	71	121	87	44	544	1874	52
<i>Culaea inconstans</i>	Épinoche à cinq épines	29833	28421	14	293	993	98		14							
<i>Margariscus margarita</i>	Mulet perlé	11172	113						366	10693						
<i>Cottus bairdii/Cottus cognatus</i>	Chabot tacheté et/ou visqueux	43618		5469										6702	14149	17298
<i>Percopsis omiscomaycus</i>	Omisco	22022		499		6046		15			2073			3775	2470	7144
<i>Umbra limi</i>	Umbre de vase	5608	4444					294		32	42	202		594		
<i>Pimephales promelas</i>	Méné à grosse tête	12898	1770	10		45	22	976	1051	6133	307			2335	44	205
<i>Etheostoma olmstedii</i>	Raseux-de-terre gris	20864	85	659		86	30	120		3845	200	15839				
<i>Catostomus catostomus</i>	Meunier rouge	9870	75	5347	2535	503	35	762	103	44	94	152	43	75	21	81
<i>Noturus flavus</i>	Barbotte des rapides	4367		1993		326	2017				31					
<i>Notropis rubellus</i>	Méné à tête rose	1330		173		999	158									
<i>Exoglossum maxillingua</i>	Méné bec-de-lièvre	3968	797			2299	872									
<i>Lota lota</i>	Lotte	5347		175	5172											
<i>Percina caprodes</i>	Fouille-roche zébré	1797		996		617	184									
<i>Ambloplites rupestris</i>	Crapet de roche	1173		290		571	312									
<i>Ameiurus nebulosus</i>	Barbotte brune	540				28								512		
<i>Ictalurus punctatus</i>	Barbue de rivière	763		763												
<i>Moxostoma anisurum</i>	Chevalier blanc	842		233		609										
<i>Perca flavescens</i>	Perchaude	1353		1197										156		
<i>Pimephales notatus</i>	Méné à museau arrondi	889									889					
<i>Sander vitreus</i>	Doré jaune	912		912												

Tableau 3. Nombre de séquences d'ADN détectées (ADN total) a) dans la FSL ; b) en dehors de la FSL. L'ordre de présentation est celui du nombre total décroissant de séquences pour l'ensemble des 27 stations (suite).

Nom latin	Nom commun	ADN total	Station														
			H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	
<i>Percina copelandi</i>	Fouille-roche gris	351		233		93	25										
<i>Petromyzon marinus</i>	Lamproie marine	160				78	82										
<i>Lampetra appendix</i>	Lamproie de l'Est	433	36			32			14					173	36	142	
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	Méné jaune	444				203					241						
<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	Chevalier rouge	385		65	320												
<i>Cottus plumbeus</i>	Mulet de lac	131		11	34	12	16			41		17					
<i>Sander canadensis</i>	Doré noir																
<i>Anguilla rostrata</i>	Anguille d'Amérique	94		67	27												
<i>Cyprinella spiloptera</i>	Méné bleu	62		62													
<i>Notropis heterolepis</i>	Méné à museau noir																
Total de chaque station		2736256	213959	260766	192473	242204	201339	164256	168107	165914	161446	167290	241668	135951	188555	232328	

(*Culaea inconstans*; 0,22), la ouitouche (*Semotilus corporalis*; 0,21), le mullet perlé (*Margariscus margarita*; 0,11) et l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*; 0,10) (figure 2). En comparaison, les sites en milieu agroforestier sont associés principalement à 5 taxons qui incluent le naseux des rapides (*Rhinichthys cataractae*; 0,68), le naseux noir de l'Est (*Rhinichthys atratulus*; 0,34), les chabots tachetés et/ou visqueux, ainsi que le meunier noir (*Catostomus commersonii*; 0,11) (figure 2). De cette analyse, nous retenons que malgré une similarité observable en matière de partage d'espèces entre les sites, la composition des communautés de poissons montre une différence significative entre les sites de la FSL et ceux hors de celle-ci, en milieu agroforestier.

Six espèces omniprésentes

L'ADN de 6 espèces était particulièrement abondant ou à tout le moins détecté dans chacune des 27 stations à l'étude. Par ordre décroissant du nombre de séquences obtenues, on trouve le mullet à cornes (figure 3a), le meunier noir, et le naseux des rapides, dont la somme des PCR compte pour 55 % de l'ensemble des séquences des poissons. L'ADN du méné à nageoires rouges (*Luxilus cornutus*), de l'omble de fontaine (figure 3b) et du meunier rouge (*Catostomus catostomus*) est moins abondant, mais omniprésent, totalisant 6 % des lectures. Les 35 autres espèces se partagent donc 39 % du nombre total de séquences d'ADN de poissons détectées.

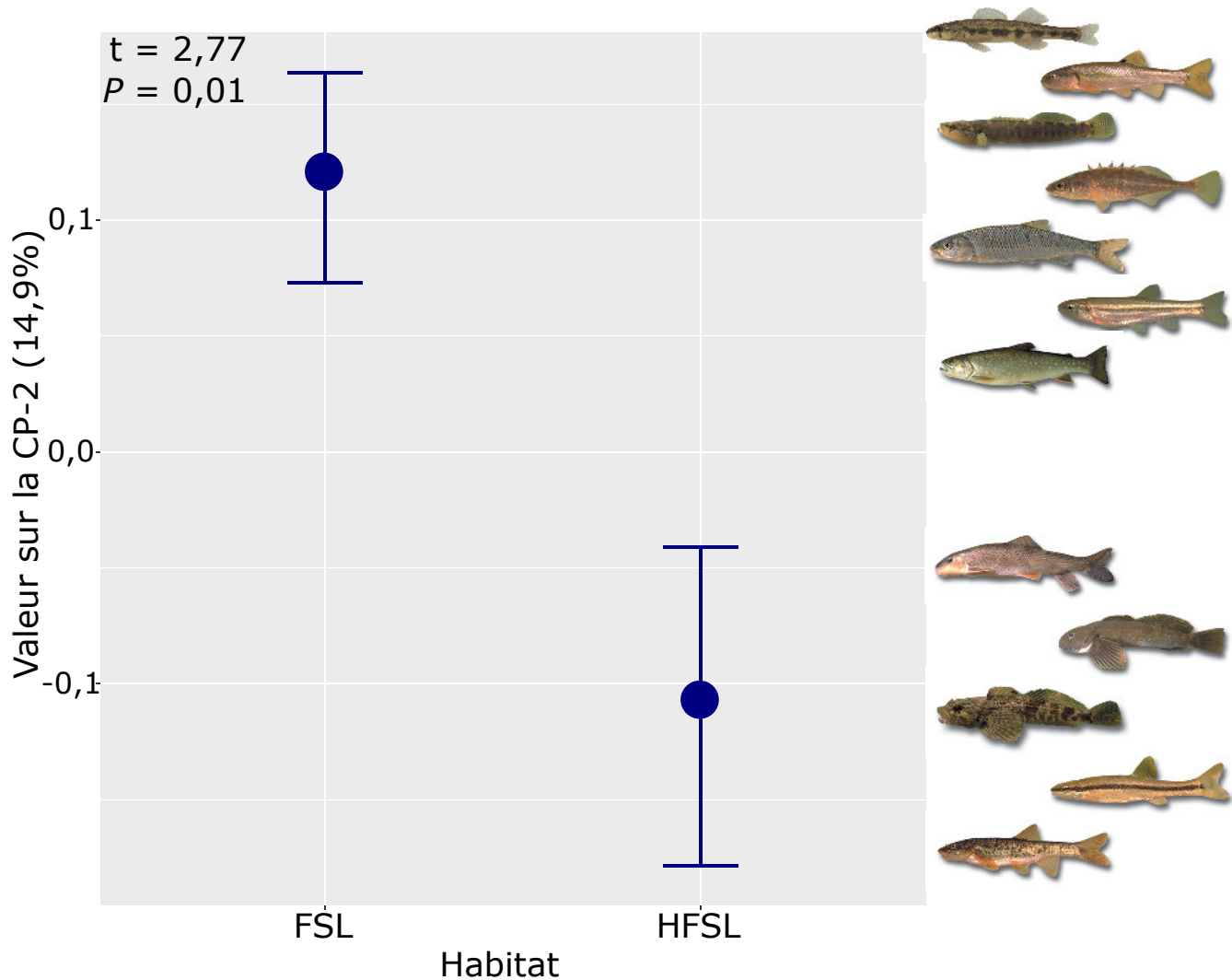


Figure 2. Diagramme en boîte montrant une différence significative de la communauté d'espèces entre les stations de la FSL et hors FSL (HSFL) sur le second axe d'une composante principale. Sept espèces différencient la communauté de poissons de la FSL, soit le naseux-de-terre noir, le mullet à cornes, le dard barré, l'épinoche à cinq épines, la ouitouche, le mullet perlé et l'omble de fontaine, alors que les sites hors FSL sont associés à 5 espèces, soit le naseux des rapides, le naseux noir de l'Est, les chabots tachetés et/ou visqueux ainsi que le meunier noir.

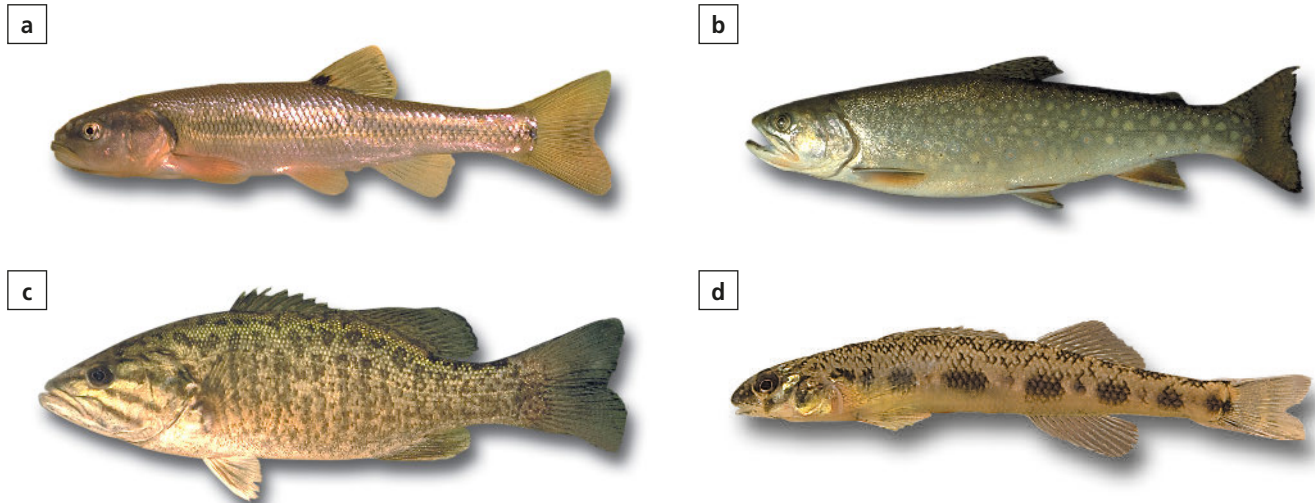


Figure 3. Quatre espèces représentatives de la biodiversité du territoire : a) le mulot à cornes, l'espèce pour laquelle on trouve le plus grand nombre de séquences d'ADN ; b) l'omble de fontaine, aussi appelé truite mouchetée ou truite de ruisseau, beaucoup plus abondant dans la FSL qu'en dehors de celle-ci ; c) l'achigan à petite bouche, le poisson le plus recherché par les pêcheurs, présent surtout dans la rivière du Chêne ; d) le fouille-roche gris, qui figure sur la liste des espèces vulnérables au Québec et menacées au Canada.

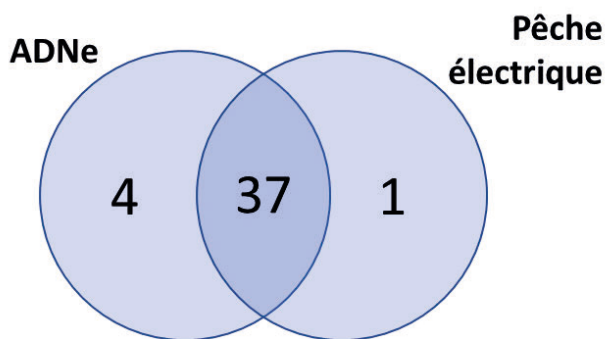


Figure 4. Diagramme de Venn représentant le nombre d'espèces répertoriées à la fois par l'ADNe et la pêche électrique, uniquement par l'ADNe et uniquement par la pêche électrique.

Espèces moins présentes

L'ADN de 7 espèces était peu fréquent ou peu abondant. La faible représentation du méné jaune (*Notemigonus crysoleucas*), du chevalier rouge (*Moxostoma macrolepidotum*), du mulot de lac (*Couesius plumbeus*) et du doré noir (*Sander canadensis*) n'est pas surprenante, puisque leur habitat préférentiel se trouve plutôt en lacs ou en rivières de plus grands débits (Bernatchez et Giroux, 2012; Desroches et Picard, 2013). Pour leur part, 2 espèces qui se trouvent près de la limite nord-est de leur aire de répartition n'ont été repérées qu'à une seule station : le méné bleu (*Cyprinella spiloptera*) à la station H15 et le méné à museau noir à la station F01, station de la FSL qui est à l'extérieur de l'OBV du Chêne. Ce cyprin est toutefois sur la liste des poissons de l'OBV du GROBEC dans le réseau de la petite rivière du Chêne (OBV du GROBEC, 2022). L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) est présente uniquement aux stations H15 et H16, près du fleuve, et aucunement plus

en amont, et ce, même en l'absence d'obstacles. L'espèce est pourtant très présente dans les rivières plus à l'est de notre région et remonte habituellement les cours d'eau, même en présence de chutes, lorsqu'elle est en grand nombre.

Stations se démarquant des autres

Les stations de la forêt seigneuriale F11 et F12 sont dans de petits cours d'eau qui prennent naissance dans la FSL et, par conséquent, ne subissent pas d'influences de la zone agricole. Elles sont remarquables puisqu'on y trouve 88 % de l'ensemble des séquences d'ADN d'omble de fontaine (tableau 3a) de la présente étude.

Située dans la partie aval de la rivière du Chêne à plus de 1 km de la zone de marée, la station H15, à proximité de l'endroit connu sous le nom de Moulin du Portage, se distingue par la présence du plus grand nombre d'espèces, soit 30 (tableau 3a). On y trouve 50 % des séquences d'ADN de barbe de rivière (*Ictalurus punctatus*), 71 % des séquences d'anguille d'Amérique, 88 % de celles du doré jaune (*Sander vitreus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*) et 100 % de celles du méné bleu de l'ensemble des échantillons, ce qui pourrait s'expliquer par la proximité et l'accessibilité au fleuve pour les poissons de cette station. C'est également l'une des deux stations où l'on trouve le moins de séquences de mulot à cornes, espèce qui fréquente davantage les petits cours d'eau (Bernatchez et Giroux, 2012; Desroches et Picard, 2013).

Distribution spatiale d'espèces d'intérêt particulier

Deux espèces présentes dans la zone d'étude sont grandement recherchées par les pêcheurs. L'ADN de l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*; figure 3c), l'espèce la plus connue des pêcheurs de la région, a été détecté à

15 stations principalement dans le bassin versant de la rivière du Chêne. L'ADN de l'omble de fontaine, présent surtout dans la FSL avec 94 % des séquences lues, domine la communauté de poissons à la station F12. La présence de son ADN à chacune des 27 stations, bien que faible en dehors de la FSL, est tout de même remarquable. Ces deux espèces se trouvent donc en quantité appréciable, mais uniquement dans le réseau de la rivière du Chêne.

Deux autres espèces présentent un intérêt certain du point de vue écologique et de la conservation de la biodiversité; il s'agit du fouille-roche gris (figure 3d), inscrit sur la liste des espèces vulnérables au Québec et menacées au Canada, qui est présent uniquement dans la FSL (F2, F6, F7, F8) ou à proximité de celle-ci (H15, H17, H18), alors que l'ADN du méné bec-de-lièvre (*Exoglossum maxillingua*), cyprin sur la liste canadienne et ontarienne des espèces menacées, se trouve en faible quantité aux stations F6, F7, F8, H14, H17 et H18.

Comparaison avec les inventaires précédents

La liste d'espèces obtenues par l'ADNe (tableau 2) a été comparée aux résultats d'inventaire en PÉ du bassin versant de la petite rivière du Chêne pour les stations F01 et H14 (OBV du GROBEC, 2022) et à celle de l'OBV du Chêne pour les autres stations (OBV du Chêne, 2020a). Trente-sept espèces sont communes aux deux types d'inventaires alors que 4 espèces sont mentionnées pour la première fois grâce à l'ADNe, la barbue de rivière, la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), le mulot de lac et le méné bleu (figure 4; tableau 2). Une seule espèce, le méné paille (*Notropis stramineus*) n'a été rapporté que lors d'inventaires en PÉ (figure 4).

Le MFFP nous a également fourni les résultats d'inventaire de PÉ de 23 stations situées à proximité de nos sites d'échantillonnage, ce qui permet la comparaison avec notre inventaire. (A. Carrier, Direction de la gestion de la faune, MFFP, 30 septembre 2020, communication personnelle). Le nombre d'espèces inventoriées par l'analyse de l'ADNe est toujours significativement plus élevé que celui obtenu en PÉ (test t pairé: $t = -8,67$; 21 degrés de liberté; $P < 0,001$). Plus précisément, le nombre moyen d'espèces identifiées par l'ADNe est de 19, soit plus du double que celui obtenu par la PÉ qui est de 9 espèces par station (tableau 4).

Autres vertébrés

En plus des séquences d'ADN de poissons, un total de 64 588 séquences représentant 13 autres espèces de vertébrés, dont celles de 9 mammifères, 2 oiseaux et 2 amphibiens, ont été détectées (tableau 5).

Tableau 5. Nombre de séquences d'ADN appartenant à d'autres vertébrés.

Nom commun	Nom latin	Séquences ensemble des stations
Salamandre à deux lignes	<i>Eurycea bislineata</i>	62 423
Bovin	<i>Bos taurus</i>	632
Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>	347
Orignal	<i>Alces alces</i>	254
Canard branchu	<i>Aix sponsa</i>	238
Sarcelle d'hiver	<i>Anas crecca</i>	220
Humain	<i>Homo sapiens</i>	178
Porc	<i>Sus scrofa</i>	125
Castor	<i>Castor canadensis</i>	93
Souris à pattes blanches	<i>Peromyscus leucopus</i>	27
Petite chauve-souris brune	<i>Myotis lucifugus</i>	24
Salamandre cendrée	<i>Plethodon cinereus</i>	16
Grande chauve-souris brune	<i>Eptesicus fuscus</i>	11
Total autres vertébrés		64 588

La salamandre à deux lignes (*Eurycea bislineata*), abondante dans les ruisseaux au Québec (Desroches et Rodrigue, 2018), est de loin l'espèce la plus représentée, avec 97 % de l'ensemble des séquences (60 782/62 423) trouvées dans la FSL, dont 83 % aux stations F11 et F12, soit les deux mêmes stations où 94 % de l'ADNe de l'omble de fontaine ont été séquencées. Les séquences de porc et de bovin obtenues suggèrent une contamination dont l'origine serait principalement l'épandage de lisier sur les terres agricoles. Les séquences de quelques mammifères communs dans nos forêts ont été observées, comme l'ADN de rat musqué (*Ondatra zibethicus*), d'orignal (*Alces alces*), de castor (*Castor canadensis*), de la grande chauve-souris brune (*Eptesicus fuscus*), de la petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*) et de la souris à pattes blanches (*Peromyscus leucopus*) ainsi que quelques séquences d'ADN d'origine humaine. L'ADN de deux espèces d'oiseaux, soit le canard branchu (*Aix sponsa*) et la sarcelle d'hiver (*Anas crecca*), et enfin l'ADN d'une autre salamandre, la salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*) sont aussi présents dans nos échantillons (tableau 5).

Comme les amorces MiFish utilisées pour cette étude ont été spécifiquement conçues pour analyser l'ADN des poissons, il est important de noter que l'interprétation du nombre de séquences amplifiées pour ces autres taxons comporte des biais supplémentaires lorsqu'elles sont utilisées

Tableau 4. Comparaison du nombre d'espèces répertoriées antérieurement à certaines stations par la pêche électrique (PÉ) et par l'analyse de l'ADNe.

Station	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F13	H14	H16	H17	H18	H20	H21	H22	H23	H25	H26	Moy.
ADNe	22	27	12	22	12	23	22	25	15	17	15	12	13	18	30	16	27	24	15	13	13	19	19
PÉ	8	9	5	10	8	15	15	11	9	10	10	2	12	10	9	8	12	9	11	8	5	9	9

comme un indicateur de leur abondance par rapport aux poissons. Il est également possible que plusieurs autres espèces de vertébrés n'aient pas été détectées.

Discussion

Malgré la popularité sans cesse croissante de l'analyse de l'ADNe pour l'étude des communautés aquatiques, les études portant spécifiquement sur les rivières et les ruisseaux de petits gabarits sont peu représentées, du moins dans l'est du Canada. À notre connaissance, seule la rivière Saint-Charles a été étudiée de la sorte sur le même territoire (Laporte et collab., 2021). Ce travail dans le bassin de la rivière du Chêne et les petits cours d'eau adjacents s'ajoute donc aux travaux précédents qui démontrent l'efficacité de l'analyse de l'ADNe pour étudier les communautés de poissons de petits systèmes lotiques. L'observation générale est que l'analyse de l'ADNe permet de détecter plus d'espèces que les approches de captures conventionnelles, et ce, avec un effort d'échantillonnage moindre. Par exemple, dans l'étude de Boivin-Delisle et collab. (2021) dans le bassin versant de la rivière Rupert dans le nord du Québec, l'analyse d'ADNe a détecté deux fois plus d'espèces que les engins de capture conventionnels, soit 20 plutôt que 10, ce qui représente une proportion semblable à ce que nous avons observé dans notre étude (19 espèces au lieu de 9). De même, l'étude de Berger et collab. (2020) dans le fleuve Saint-Laurent a permis de détecter 14 espèces de plus (65 contre 51), avec un effort de travail beaucoup moins important. À noter que le nombre de séquences détectées n'est pas une mesure fiable de l'abondance d'une espèce, puisque l'hétérogénéité environnementale et l'espèce peuvent influencer la production d'ADN dans l'environnement (Caza-Allard et collab., 2022). De plus, la proximité du point d'échantillonnage peut affecter la quantité d'ADN (Deiner et collab., 2017; Laporte et collab., 2020; Laporte et collab., 2022).

Ceci dit, notre étude, tout comme les précédentes, n'est pas sans contraintes d'interprétation. Bien qu'un nombre croissant d'études démontrent que l'ADNe est une méthode plus efficace pour détecter les espèces moins abondantes, il faut garder en tête que les espèces les plus rares peuvent ne pas être détectées dans certains cas, comme cela se produit lors d'inventaires réalisés à l'aide d'engins de capture conventionnels. Il est aussi possible que certaines espèces, pourtant présentes dans le cours d'eau, soient trop éloignées des sites au moment de l'échantillonnage, ce qui empêche leur présence d'être révélée. Ainsi, un plus grand nombre de sites d'échantillonnage, à des moments différents de l'année, pourrait s'avérer utile dans certaines situations. Enfin, comme on l'a déjà indiqué, il ne faut pas interpréter le nombre de séquences comme une indication absolue d'abondance, car plusieurs facteurs biologiques ou expérimentaux peuvent influencer le nombre de séquences obtenues (Caza-Allard et collab., 2022; Deiner et collab., 2017). De plus, le choix de notre seuil d'un minimum de 10 séquences pourrait engendrer la présence de faux positifs. Nous avons opté pour augmenter nos chances de détection d'espèces rares, à défaut de considérer localement présentes des espèces qui

seraient plus en amont. Il faut donc voir ces résultats d'analyse des communautés par analyse métagénomique de l'ADNe comme une méthodologie permettant de saisir rapidement la diversité des espèces présentes dans un cours d'eau. Cet exercice pourra être complété, au besoin, par des observations sur le terrain. Il faut aussi considérer que le recours à l'analyse en laboratoire nécessite du matériel et du personnel spécialisés. Néanmoins, un nombre sans cesse croissant de laboratoires offrent ce type de services analytiques, autant ici, au Québec, qu'ailleurs dans le monde.

Compte tenu des incertitudes inhérentes à l'analyse de l'ADNe, nos résultats suggèrent que dans notre système d'étude, le mulot à cornes est l'espèce la plus représentée, suivie de près par le meunier noir et le naseux des rapides. De plus, notre analyse a permis de confirmer la présence de 4 espèces qui n'avaient pas été rapportées à ce jour sur le territoire de l'OBV du Chêne. Seul le méné paille aurait échappé à notre analyse, ce qui devrait faire l'objet d'une vérification, car ce cyprin de petite taille peut parfois être confondu avec d'autres espèces. Il serait étonnant, mais pas impossible qu'il ait disparu des stations F06 et F07 de la FSL où il aurait été récolté antérieurement par la PÉ. Une validation pourrait nous apporter une conclusion plus définitive. À cette exception près, les espèces recensées en PÉ ont toutes été confirmées par l'ADNe.

Le nombre d'espèces s'est toujours révélé supérieur avec l'ADNe que par la PÉ. Ce résultat est important lorsqu'on s'intéresse à la biodiversité ichtyologique d'un cours d'eau puisqu'il indique que la présence d'espèces rares peut échapper à un inventaire par PÉ, mais être détectée par l'ADNe. Ceci n'enlève pas l'intérêt de la PÉ ou des autres techniques permettant la capture des poissons. En effet, celles-ci demeurent utiles pour déterminer précisément l'endroit et l'habitat où se trouve une espèce, pour récolter des données sur la structure d'âge, la croissance et le sexe des individus ou encore pour observer la variation morphologique lorsque ces informations sont nécessaires.

La quantité moyenne d'ADNe détectée dans les stations de la FSL est semblable à ce que l'on trouve en dehors de la FSL en milieu agroforestier. Toutefois, l'ADN de 8 espèces s'y trouve en quantité nettement supérieure, notamment pour l'omble de fontaine et le fouille-roche gris, des espèces sensibles à la qualité du milieu. Ceci laisse croire que l'habitat peu modifié à proximité des cours d'eau que l'on trouve dans la FSL favorise la présence de ces espèces en plus grande abondance. Les stations F11 et F12, surtout, méritent une attention particulière puisqu'elles contiennent à la fois 94 % de l'ensemble des séquences d'ADN d'omble de fontaine et 83 % de celui des salamandres à deux lignes. Il n'est donc pas étonnant que ces 2 stations soient visées par un projet de réserve de biodiversité dans le milieu (MRCL, 2021).

L'espèce qui cause une surprise est sans doute l'omble de fontaine. Elle est abondante dans la FSL, ce qui était attendu, mais son ADN est confirmé à chacune des 27 stations, même en milieu agricole où l'habitat ne lui semble pas favorable. Cette espèce était auparavant largement répandue et abondante

partout sur le territoire. Il est donc possible que des individus subsistent dans des sections de cours d'eau où l'habitat le permet, ou encore qu'il s'agisse dans certains cas de faux positifs relatifs à la méthode de l'ADNe. La présence de petits réservoirs de populations qui se trouvent vraisemblablement en amont de chaque ruisseau en milieu agroforestier démontre tout l'intérêt d'une restauration d'habitat qui permettrait le rétablissement de populations naturelles de cette espèce prisée par les pêcheurs.

La présence du fouille-roche gris est aussi particulièrement intéressante puisque ce petit poisson, inscrit sur la liste des espèces menacées au Canada et vulnérables au Québec, est ici à la limite est de son aire de répartition. Son abondance pourrait être plus importante que ce signal distinct puisque 300 203 occurrences de fouille-roche gris ou de fouille-roche zébré n'ont pu les distinguer l'un de l'autre. Il en va de même pour le méné bec-de-lièvre, qui est en difficulté en Ontario et dont la distribution est restreinte au Québec. Dans un avenir rapproché, il serait pertinent d'inclure des mesures de gestion spécifiques à ces deux espèces vulnérables.

Conclusion

Nous sommes d'avis que l'analyse de l'ADNe est appelée à se généraliser pour l'étude des communautés en milieu lotique, particulièrement là où un inventaire d'un territoire à large échelle, comme celui d'un OBV, est nécessaire. De fait, l'Association canadienne de normalisation a tout récemment publié un document portant sur les « Exigences en matière de terminologie et de production de rapports sur l'ADN environnemental (ADNe) » (Groupe CSA, 2021). Puisqu'il est possible de recenser en un seul point les espèces présentes dans les habitats en amont, la cueillette des échantillons peut se faire à des endroits accessibles avec peu d'équipement. Aucune formation exhaustive et aucun permis de bons soins aux animaux ni équipement coûteux ne sont nécessaires pour la capture et l'identification des espèces. L'ADNe s'avère un moyen efficace pour repérer la présence d'espèces et se renseigner sur leur abondance relative. Cette approche nécessite un effort de terrain moindre que les techniques utilisées jusqu'ici, soit la PÉ, le filet maillant et la seine de rivage. Dans le cas de la présente étude, elle a permis de confirmer la présence de 41 espèces de poissons dont 40 sur le territoire de l'OBV du Chêne, de démontrer que la forêt de la Seigneurie de Lotbinière assure le maintien d'habitats propices à des espèces intolérantes aux perturbations environnementales et d'ajouter 4 espèces à la liste des poissons déjà connus sur le territoire de l'OBV du Chêne.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent à Marie-Andrée Boisvert, ex-directrice de l'OBV de la zone du Chêne, qui a initié le projet et choisi les points d'échantillonnage, à Sylvie Leduc et à Alexandra Éthier-Houle, qui ont recueilli les échantillons de terrain, à Éric Normandeau pour le traitement bio-informatique des données, à Marie-Ève Beaulieu et Cecilia

Hernandez, qui ont réalisé les analyses et l'interprétation des données de laboratoire, à Dominique Adam et William Boissonneault pour la réalisation de la cartographie et le soutien pour la présentation de la bibliographie, et à Nicole Boivin pour la relecture et la correction de l'orthographe du manuscrit.

Les auteurs adressent enfin leurs remerciements à l'équipe éditoriale de cette revue, en particulier au comité de lecture (Claude Samson [rédacteur en chef adjoint], Marc-Antoine Couillard [rédacteur adjoint] et un réviseur anonyme) ainsi qu'à l'équipe de bénévoles du *Naturaliste canadien* pour leur contribution essentielle à l'amélioration de la version initiale de cet article (vérification technique et édition finale). ◀

Références

- AFZALI, S.F., H. BOURDAGES, M. LAPORTE, C. MÉROT, É. NORMANDEAU, C. AUDET et L. BERNATCHEZ, 2021. Comparing environmental metabarcoding and trawling survey of demersal fish communities in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Environmental DNA*, 3: 22-42. <https://doi.org/10.1002/edn3.111>.
- BENSON, D.A., M. CAVANAUGH, K. CLARK, L. KARSCH-MIZRACHI, D.J. LIPMAN, J. OSTELL et E.W. SAYERS, 2013. GenBank. *Nucleic Acids Research*, 41 (D1): D36-D42. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1195>.
- BERGER, C.S., C. HERNANDEZ, M. LAPORTE, G. CÔTÉ, Y.T. PARADIS, W.K. DOMINIQUE, É. NORMANDEAU et L. BERNATCHEZ, 2020. Fine-scale environmental heterogeneity shapes fluvial fish communities as revealed by eDNA metabarcoding. *Environmental DNA*, 2 (4): 647-666. <https://doi.org/10.1002/edn3.129>.
- BERNATCHEZ, L. et M. GIROUX, 2012. Les poissons d'eau douce du Québec et leur répartition dans l'est du Canada, 3^e édition. Éditions Broquet, Saint-Constant, 348 p.
- BOIVIN-DELISLE, D., M. LAPORTE, F. BURTON, R. DION, É. NORMANDEAU et L. BERNATCHEZ, 2021. Using environmental DNA for biomonitoring of freshwater fish communities: Comparison with established gillnet surveys in a boreal hydroelectric impoundment. *Environmental DNA*, 3 (1): 105-120. <https://doi.org/10.1002/edn3.135>.
- CASSELMAN, J.M., T. PENCZAK, L. CARL, R.H.K. MANN, J. HOLCÍK et W.A. WOITOWICH, 1990. An evaluation of fish sampling methodologies for large river systems. *Polish Archives of Hydrobiology*, 37: 521-551.
- CAZA-ALLARD, I., M. LAPORTE, G. CÔTÉ, J. APRIL et L. BERNATCHEZ, 2022. Effect of biotic and abiotic factors on the production and degradation of fish environmental DNA: An experimental evaluation. *Environmental DNA*, 4 (2): 453-468. <https://doi.org/10.1002/edn3.266>.
- DEINER, K., H.M. BIK, E. MÄCHLER, M. SEYMOUR, A. LACOURSIÈRE-ROUSSEL, F. ALTERMATT, S. CREER, I. BISTA, D.M. LODGE, N. DE VERE, M.E. PPRENDER et L. BERNATCHEZ, 2017. Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities. *Molecular Ecology*, 26 (21): 5872-5895. <https://doi.org/10.1111/mec.14350>.
- DEINER, K., H. YAMANAKA et L. BERNATCHEZ, 2021. The future of biodiversity monitoring and conservation utilizing environmental DNA. *Environmental DNA*, 3 (1): 3-7. <https://doi.org/10.1002/edn3.178>.
- DESROCHES, J.-F. et I. PICARD, 2013. Les poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes. Éditions Michel Quintin, Montréal, 472 p.
- DESROCHES, J.-F. et D. RODRIGUE, 2018. Amphibiens et reptiles du Québec et des Maritimes. Édition revue et augmentée, Éditions Michel Quintin, Montréal, 376 p.
- DUCRUC, J.-P., F. POISSON, V. GERARDIN, G. DOMON, J. RUIZ et J.E. MEDINA MENA, 2019. Le cadre écologique de référence du Québec : perspectives historiques, concepts et applications. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec, 179 p. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/cadre-ecologique/rapports/cadre-eco-ref-perspective-historique-concepts-applications.pdf>.

- GARCÍA-MACHADO, E., M. LAPORTE, É. NORMANDEAU, C. HERNÁNDEZ, G. CÔTÉ, Y. PARADIS, M. MINGELBIER et L. BERNATCHEZ, 2022. Fish community shifts along a strong fluvial environmental gradient revealed by eDNA metabarcoding. *Environmental DNA*, 4: 117-134. <https://doi.org/10.1002/edn3.221>.
- GIROUX, I., S. HÉBERT et D. BERRYMAN, 2016. Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents. *Le Naturaliste canadien*, 140 (2): 26-34. <https://doi.org/10.7202/1036500ar>.
- GOLDBERG, C.S., D.S. PILLIOD, R.S. ARKLE et L.P. WAITS, 2011. Molecular detection of vertebrates in stream water: A demonstration using Rocky Mountain Tailed Frogs and Idaho Giant Salamanders. *PLoS ONE*, 6 (7): e22746. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022746>. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022746>.
- GROUPE CSA, 2021. Exigences et terminologie des rapports sur l'ADN environnemental (eDNA). Disponible en ligne à : <https://www.csagroup.org/store/product/2705165/>.
- IWASAKI, W., T. FUKUNAGA, R. ISAGOZAWA, K. YAMADA, Y. MAEDA, T.P. SATOH, T. SADO, K. MABUCHI, H. TAKESHIMA, M. MIYA et M. NISHIDA, 2013. MitoFish and MitoAnnotator: A mitochondrial genome database of fish with an accurate and automatic annotation pipeline. *Molecular Biology and Evolution*, 30(11): 2531-2540. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst141>.
- KELLY, R.P., J.A. PORT, K.M. YAMAHARA et L.B. CROWDER, 2014. Using environmental DNA to census marine fishes in a large mesocosm. *PLoS ONE*, 9 (1): e86175. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086175>.
- LACOURSIÈRE-ROUSSEL, A., C. CÔTÉ, V. LECLERC et L. BERNATCHEZ, 2016. Quantifying relative fish abundance with eDNA: A promising tool for fisheries management. *Journal of Applied Ecology*, 53: 1148-1157. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12598>.
- LAPORTE, M., C.S. BERGER, E. GARCÍA-MACHADO, G. CÔTÉ, O. MORISSETTE, L. BERNATCHEZ, 2022. Cage transplant experiment shows weak transport effect on relative abundance of fish community composition as revealed by eDNA metabarcoding. *Ecological Indicators*, 137, 108785. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108785>.
- LAPORTE, M., B. BOUGAS, G. CÔTÉ, O. CHAMPOUX, Y. PARADIS, J. MORIN et L. BERNATCHEZ, 2020. Caged fish experiment and hydrodynamic bidimensional modeling highlight the importance to consider 2D dispersion in fluvial environmental DNA studies. *Environmental DNA*, 2 (3): 362-372. <https://doi.org/10.1002/edn3.88>.
- LAPORTE, M., E. RENY-NOLIN, V. CHOUINARD, C. HERNANDEZ, É. NORMANDEAU, B. BOUGAS, C. CÔTÉ, S. BEHMELE et L. BERNATCHEZ, 2021. Proper environmental DNA metabarcoding data transformation reveals temporal stability of fish communities in a dendritic river system. *Environmental DNA*, 3 (5): 1007-1022. <https://doi.org/10.1002/edn3.224>.
- LEGENDE, P. et L. LEGENDRE, 1998. Numerical ecology, vol. 24, 2^e édition. *Developments in Environmental Modelling* 20. Elsevier Science, Amsterdam, 852 p. <https://www.elsevier.com/books/numerical-ecology/legendre/978-0-444-89249-2>.
- LI, T., J.-P. DUCRUC, M.-J. CÔTÉ, D. BELLAVANCE et F. POISSON, 2019. Les provinces naturelles : première fenêtre sur l'écologie du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de la connaissance écologique, Québec, 24 p. Disponible en ligne à : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/cadre-ecologique/rapports/provinces-naturelles.pdf>.
- MATHON, L., A. VALENTINI, P.-E. GUÉRIN, É. NORMANDEAU, C. NOËL, C. LIONNET, E. BOULANGER, W. THUILLER, L. BERNATCHEZ, D. MOUILLOT, T. DEJEAN et S. MANEL, 2021. Benchmarking bioinformatic tools for fast and accurate eDNA metabarcoding species identification. *Molecular Ecology Resources*, 21: 2565-2579. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13430>.
- [MELCC] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, 2009. Adoption de la loi sur l'eau. Un geste historique pour l'eau du Québec. Disponible en ligne à : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=1514>. [Visité le 2022-03-24].
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2021. Espèces fauniques menacées ou vulnérables. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/especes-menacees-vulnerables/>. [Visité le 2021-08-16].
- MIYA, M., Y. SATO, T. FUKUNAGA, T. SADO, J.Y. POULSEN, K. SATO, T. MINAMOTO, S. YAMAMOTO, H. YAMANAKA, H. ARAKI, M. KONDOH et W. IWASAKI, 2015. MIFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: Detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society Open Science*, 2 (7): 150088. <https://doi.org/10.1098/rsos.150088>.
- [MRCL] MRC DE LOTBINIÈRE, CONSEIL RÉGIONAL DE L'ENVIRONNEMENT DE CHAUDIÈRE APPALACHES, AMIS DE LA FORÊT DE LA SEIGNEURIE DE LOTBINIÈRE, OBV DU CHÊNE et NATURE QUÉBEC, 2021. Proposition de réserve de biodiversité dans la Forêt de la Seigneurie de Lotbinière. 18 p. Disponible en ligne à : <https://www.mrclothebiere.org/wp-content/uploads/2021/09/Proposition-reserve-de-biodiversite-FSL-1.pdf>.
- [OBV DU CHÊNE] ORGANISME DE BASSINS VERSANTS DE LA ZONE DU CHÊNE, 2020a. Partie 1 – Portrait des bassins versants de la zone du Chêne, Plan directeur de l'eau de la zone du Chêne, 158 p. + ann. Disponible en ligne à : https://www.obvduchene.org/wp-content/uploads/2022/04/PDE_version-ameliore%CC%81e_20-04-2022.pdf. [Visité le 2022-03-28].
- [OBV DU CHÊNE] ORGANISME DE BASSINS VERSANTS DE LA ZONE DU CHÊNE, 2020b. Partie 4 – Plan d'action, Plan directeur de l'eau de la zone du Chêne, 16 p. + ann. Disponible en ligne à : <https://www.obvduchene.org/wp-content/uploads/2020/10/Partie-4-revise-avril2016.pdf>. [Visité le 2022-03-28].
- [OBV DU GROBEC] GROUPE DE CONCERTATION DES BASSINS VERSANTS DE LA ZONE BÉCANCOUR, 2022. Étude et caractérisation du bassin versant de la petite rivière du Chêne – 2019. 70 p. + ann. Disponible en ligne à : <http://www.grobec.org/2019.php>. [Visité le 2022-03-28].
- R CORE TEAM, 2018. R: A language and environment for statistical computing. www.r-project.org/foundation/.
- [ROBVQ] REGROUPEMENT DES ORGANISMES DE BASSINS VERSANTS DU QUÉBEC, 2022. Qui sommes-nous? Disponible en ligne à : <https://robvq.qc.ca/obv-du-quebec/>. [Visité le 2022-03-24].
- ROUSSEL, J.M. et A. BARDONNET, 2002. Habitat de la truite commune (*Salmo trutta* L.) pendant la période juvénile en ruisseau: préférences, mouvements, variations journalières et saisonnières. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 365/366: 435-454. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002044>.
- TAYLOR, H.R. et N.J. GEMMELL, 2016. Emerging technologies to conserve biodiversity: Further opportunities via genomics. *Response to Pimm et al. Trends in Ecology & Evolution*, 31 (3): 171-172. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.01.002>.

Sous la surface des lacs des Laurentides : des témoignages de la dernière période glaciaire

Benoit Faucher, Jean-Louis Courteau et Bernard Lauriol

Résumé

De remarquables formes rocheuses insolubles se dressent dans le fond de lacs creusés dans le marbre de Grenville de la région des Laurentides, au Québec (Canada). Elles atteignent une hauteur pouvant aller jusqu'à plusieurs décimètres. Selon les études sur les taux de dissolution du marbre du Bouclier canadien, il est improbable que celles-ci aient été mises en relief seulement pendant l'Holocène. Nous proposons qu'une érosion hydrique dans des poches d'eau alimentées par l'eau de fonte de la dernière calotte de glace des Laurentides soit à l'origine de la mise en relief de ces roches insolubles. Nous envisageons aussi la possibilité que les roches insolubles aient été dégagées de leur matrice de marbre par une eau courante bien avant la dernière déglaciation, et que celle-ci ait été précédée par un ou des lacs sous-glaciaires.

MOTS CLÉS : érosion sous-glaciaire, glaciation wisconsinienne, lac des Seize Îles, Laurentides, marbre de Grenville

Abstract

Remarkable insoluble rock forms resulting from differential hydraulic erosion of Grenville marble have been discovered at the bottom of lakes in the Laurentian region (Québec, Canada). Some of these forms are several decimetres tall. Given the results of studies on the chemical dissolution rate of Canadian Shield marble, it is unlikely that these insoluble units were only released from the encasing marble during the Holocene. Instead, it is proposed that they likely result largely from differential hydraulic erosion caused by pockets of meltwater fed by the retreating Laurentide ice sheet. The authors also consider the possibility that the insoluble rocks were released from their marble matrix by running water well before the last deglaciation, and that this retreat of the ice would have been preceded by one or more subglacial lakes.

KEYWORDS: Grenville marble, lac des Seize Îles, Laurentides, subglacial erosion, Wisconsin glaciation

Introduction

La découverte de formes spectaculaires d'érosion différentielle sur le substrat rocheux du fond de trois lacs de la région des Laurentides (Québec) par des plongeurs explorateurs est à l'origine de cette étude. Ces formes inusitées d'érosion différentielle ont été portées à notre attention par l'un des coauteurs (J.-L. C.) de cet article, qui est lui-même plongeur. En collaboration avec ses collègues, ce dernier a observé et photographié ces formes d'érosion, lesquelles occupent une position préférentielle dans le fond de ces lacs, soit dans le voisinage immédiat de la partie sud de leurs îles (Courteau, 2021).

Les formes d'érosion découvertes par les plongeurs n'ont été observées que dans les formations de marbres précambriens aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc (figure 1). Leur hauteur exceptionnelle ainsi que leur emplacement dans une région qui fut autrefois couverte de glace lors de la dernière glaciation nous ont emmenés à proposer un mécanisme d'érosion beaucoup plus efficace ou actif sur une période plus longue que celle observée en milieu subaérien, donc postglaciaire, et capable de produire une telle intensité érosive.

C'est ainsi que nous proposons que ces formes d'érosion différentielle résultent de l'action de l'eau de fonte, probablement par un écoulement turbulent sous pression, dans un environnement sous-glaciaire. En érodant le marbre, l'eau aurait épargné les inclusions de roches silicatées,

lesquelles exhibent une morphologie qui date de la période pendant laquelle elles se sont révélées, c'est-à-dire il y a un peu plus de 1 milliard d'années, lors de l'orogénèse de Grenville (Corriveau, 2013; Fensome et collab., 2014).

Région à l'étude

Les Laurentides, au nord des basses-terres du Saint-Laurent du Québec, offrent un paysage de collines séparées de vallées au fond comblé de sédiments glaciaires ou occupées par de nombreux lacs. Le sommet des collines culmine à des hauteurs de 250 à 300 m, tandis que la plus grande profondeur des lacs varie de -60 à -80 m d'après les cartes publiées notamment par le Conseil régional de l'environnement (CRE) des Laurentides. Les lacs situés de part et d'autre des vallées des rivières Gatineau et du Lièvre se trouvent parfois creusés

Benoit Faucher est scientifique du Quaternaire à la Commission géologique du Canada (Programme GEM-GéoNord, Ottawa) et enseigne la géographie au Département de géographie, environnement et géomatique de l'Université d'Ottawa (Ontario).

bfaucher@uottawa.ca.

Jean-Louis Courteau est auteur, artiste, coproducteur de documentaires vidéo et directeur du Centre d'interprétation des eaux laurentiennes à Lac-des-Seize-Îles (Québec).

Bernard Lauriol est professeur émérite de l'Université d'Ottawa (Ontario). Il a récemment publié deux ouvrages sur l'Outaouais et son passé géologique.

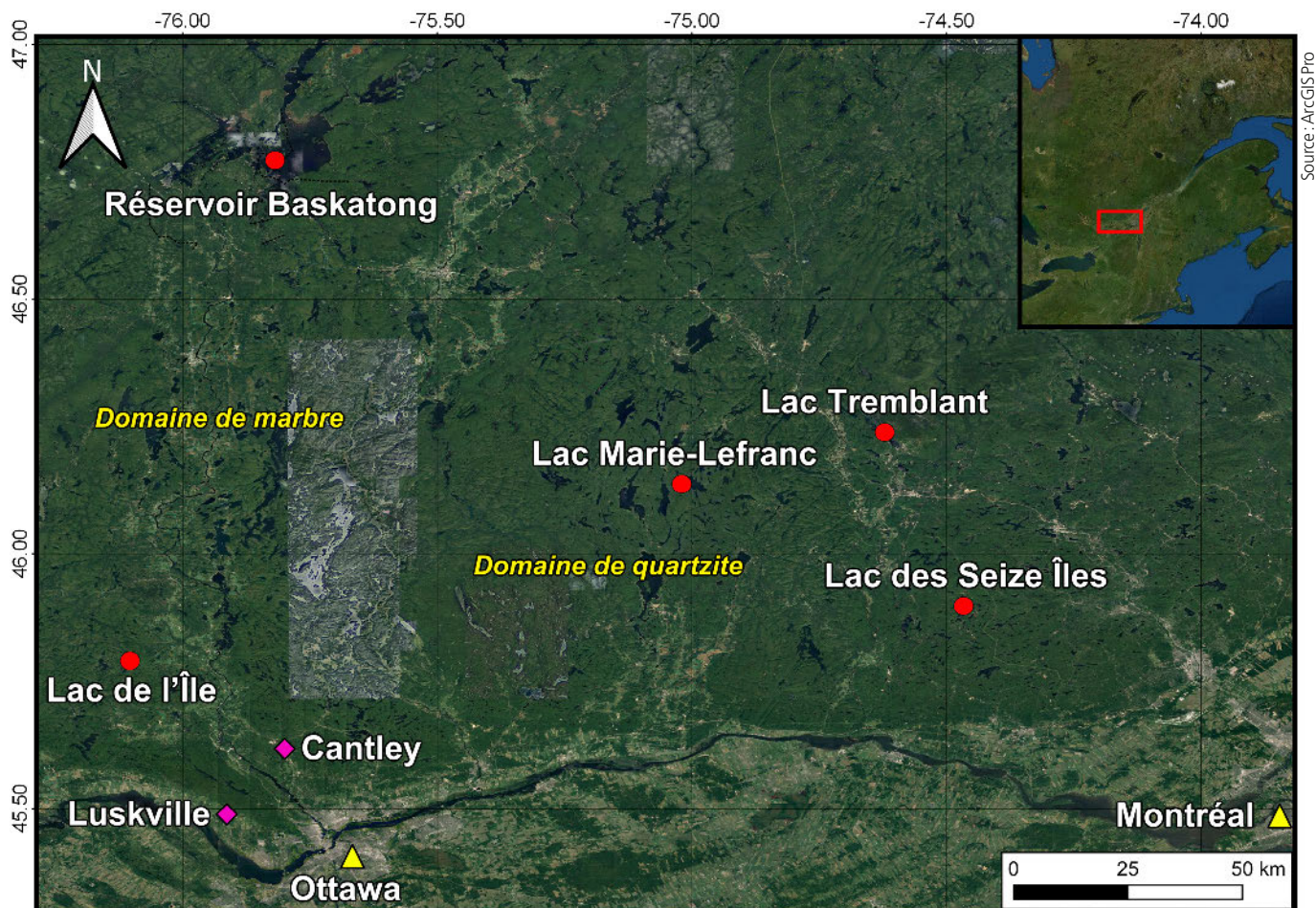


Figure 1. Carte de localisation des sites terrestres et des lacs étudiés dans les Laurentides et en Outaouais (Québec, Canada). Triangles jaunes = villes majeures; losanges roses = sites terrestres; cercles rouges = lacs (à noter que le réservoir du Baskatong y est inséré à seul titre de référence géographique). Les affleurements de marbre sont peu nombreux, mais présents dans le domaine de quartzite.

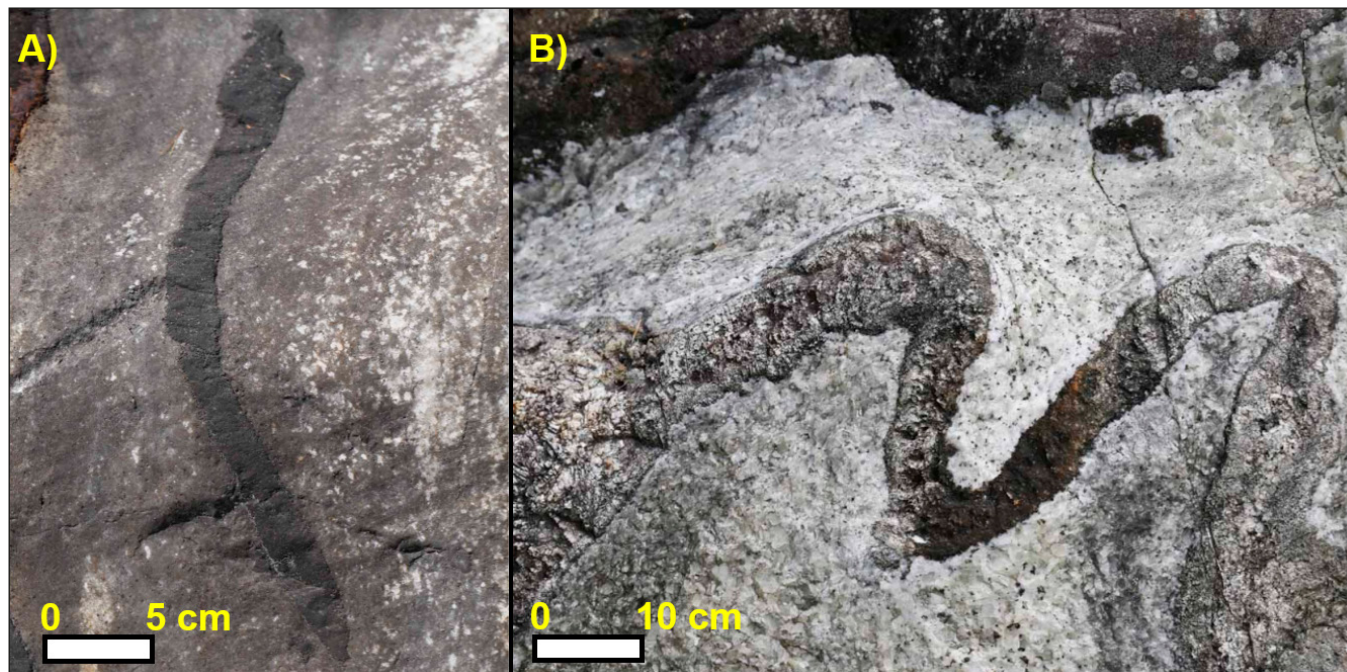
dans le marbre précambrien, qui est une roche plus sensible à l'érosion que le gneiss et la syénite, deux roches communes des Laurentides (Hogarth, 1962).

En s'éloignant des vallées de la Lièvre et de la Gatineau, le marbre devient plus rare (Hogarth, 1962). Néanmoins, il en existe des affleurements souvent modestes et dispersés, à l'ouest, jusqu'à la vallée de la rivière Noire et à l'est, jusqu'à la vallée de la rivière du Nord. Rappelons que le marbre de Grenville provient du métamorphisme du calcaire accumulé sur les rivages de l'océan Moravia il y a environ 1 milliard d'années (Fensome et collab., 2014). Le calcaire fut intégré dans les racines de l'immense chaîne de Grenville, laquelle fut par la suite érodée, ramenant à la surface un calcaire métamorphisé riche en inclusions de roches silicatées (Dresser et Denis, 1946).

L'inclusion des roches silicatées dans le marbre résulte de lits, de veines, et de dykes riches en silice qui ont été brisés, retournés et écrasés durant le métamorphisme du calcaire. Leurs fragments apparaissent de nos jours discontinus, rectilignes, mais aussi parfois plissés et même contorsionnés (figure 2). Le plus souvent cependant, le matériel silicaté diffus dans le calcaire s'est aggloméré pour former des

agrégats qui, lorsque dégagés du marbre, forment des blocs pouvant atteindre plusieurs décimètres de diamètre. Il s'est produit aussi durant l'orogénèse de Grenville de nombreuses explosions souterraines engendrées par des vapeurs dégagées par le magma. Elles ont laissé en héritage des roches brisées ou pyroclastes aux contours anguleux (Lauriol et Bertrand, 2017).

Ce n'est qu'après la déglaciation, survenue dans la région d'étude vers 12 000 années avant le présent (Dalton et collab., 2020; Prichonnet, 1977) que la différence de dureté entre le marbre et les roches silicatées qu'il contient va s'exprimer sous l'effet des processus de météorisation, soit la gélifraction, le ruissellement et la pédogenèse. Des observations faites dans la vallée de la Gatineau ont permis d'estimer à 10 cm la tranche moyenne de marbre érodée par ces processus depuis 10 000 ans, mais seulement là où celui-ci a été exposé aux intempéries (Lauriol et Prévost, 1994; Prévost, 1991). Là où une couverture de limon, de sable, ou de gravier glaciaires et fluvioglaciaires recouvre le marbre, l'érosion différentielle ne s'est alors fait sentir que très faiblement (souvent moins de 1 cm) (Lauriol et Prévost, 1994).



Photos: B. Lauriol

Figure 2. Deux affleurements de marbre voisins (A et B) exhibant une roche silicatée érodée par le passage du glacier et qui, par la suite, ont été recouverts par du gravier et du sable qui en ont assuré la préservation. Carrière de Cantley (Québec). Voir la figure 1 pour l'emplacement du site.

L'érosion sous la surface des lacs

Dans les Laurentides, suivant nos observations, les roches silicatées mises en relief par la météorisation du marbre de Grenville n'affleurent que sur une hauteur moyenne de 5 à 10 cm sur les rives rocheuses actuelles des lacs. Il en est de même sous l'eau, selon les mesures faites par Jean-Louis Courteau et ses collègues au cours de centaines d'heures de plongée. C'est pourquoi les formes d'érosion très localisées aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc constituent une curiosité géologique. Elles méritent d'être étudiées, car elles n'ont jamais été décrites ailleurs dans d'autres lacs encaissés dans le marbre du Bouclier canadien. En effet, dans chacun de ces lacs, des roches silicatées sont dégagées de leur matrice de marbre sur une hauteur remarquable de plusieurs décimètres. Elles présentent des morphologies variées; les plus communes sont les roches plissées tandis que les plus spectaculaires sont celles qui reposent sur un pilier de marbre (ce qui évoque des cheminées de fée), ou encore celles qui ressemblent à des troncs d'arbres brisés et submergés dans les marais (figure 3). Dans chacun des lacs, les roches silicatées dégagées de leur matrice de marbre ont été observées de -5 à -30 m de profondeur. Il n'est pas impossible qu'il y en ait aussi à de plus grandes profondeurs, mais l'eau froide, l'obscurité et surtout les obligations de décompression rendent la plongée plus hasardeuse.

L'emplacement géographique où ces roches insolubles ont été trouvées est le même dans les trois lacs étudiés, soit au sud de bosses rocheuses d'une hauteur de quelques mètres au-dessus de l'eau. Ces bosses sont partiellement constituées de marbre, et contiennent du gneiss. À leur périphérie, il n'est pas rare d'y apercevoir des accumulations de galets bien

arrondis d'origine fluvio-glaciaire. Au lac des Seize Îles, ces accumulations forment ce qu'on nomme un moulin de kame; il s'agit d'une preuve d'un écoulement d'eau sous-glaciaire violent. De plus, des blocs erratiques (à moins qu'il s'agisse de *drop stones*, c'est-à-dire de blocs rocheux délestés par des glaces flottantes) reposent ici et là sur des affleurements rocheux sous-aquatiques.

Le pH de l'eau des lacs étudiés se situe entre 6 et 7, ce qui correspond à une eau peu agressive. Cela est attribuable aux sols carbonatés qui tamponnent l'acidité de l'eau de pluie, des ruisseaux et des nappes phréatiques qui alimentent les lacs. Nos mesures physicochimiques (pH, conductivité et température) effectuées en surface en plusieurs points au cours des saisons 2018 et 2019, et en profondeur jusqu'à -30 m dans le lac des Seize Îles, n'indiquent pas une eau d'une acidité anormale pouvant rendre compte d'une dissolution élevée dans ce lac et localisée (au sud d'îlots rocheux). Il en est probablement de même dans les lacs Tremblant et Marie-Lefranc, et ce fut sans doute aussi le cas depuis le retrait du dernier inlandsis.

L'érosion du marbre par l'eau des glaciers

Une érosion du marbre dans des cavités sous-glaciaires au sud d'obstacles rocheux (c'est-à-dire en position d'abri par rapport à un écoulement glaciaire venant du nord) offre une explication possible pour rendre compte du déchaussement exceptionnel des roches silicatées au sud d'obstacles rocheux. Ils ont joué le rôle de bouclier. En effet lors de la dernière déglaciation, la fonte de l'inlandsis s'est accompagnée d'un écoulement d'eau duquel le volume fut de plusieurs millions de mètres cubes. Une partie de l'écoulement s'est produite

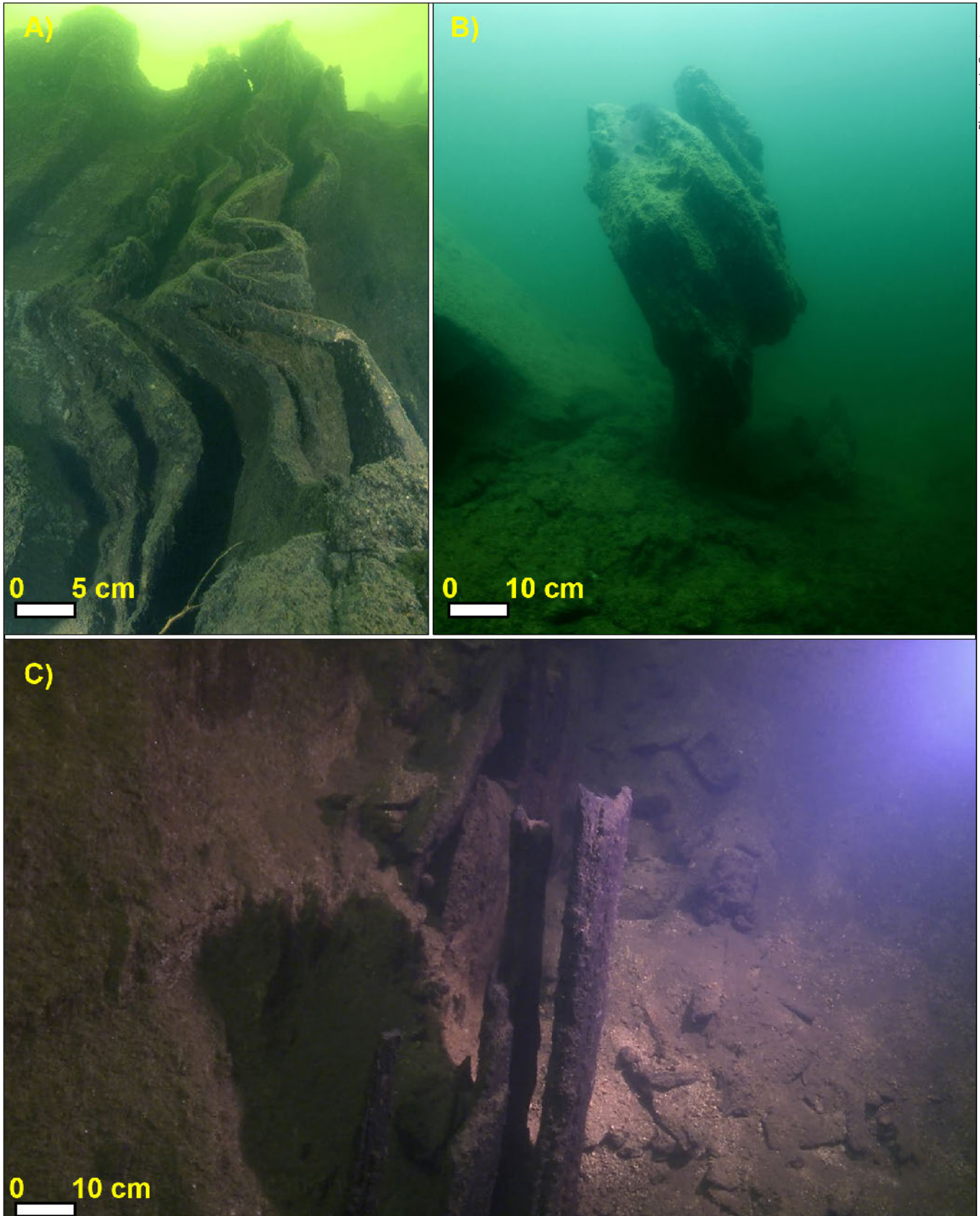


Figure 3. Formes spectaculaires d'érosion différentielle sur le substrat rocheux du fond de 3 lacs des Laurentides. A) formation plissée; B) roche insoluble reposant sur un pilier de marbre; C) roches insolubles verticalement dénudées de leur matrice de marbre.

sous les glaciers, et notamment dans le fond des vallées comme en témoignent les dépôts fluvio-glaciaires qui les remplissent en partie.

Dans la région à l'ouest de la rivière du Nord, l'écoulement de la glace et de l'eau s'est toujours fait du nord vers le sud (Prichonnet, 1977). Bien que cela ne soit pas documenté, il est probable que cet écoulement s'est accompagné de la formation de cavités sous-glaciaires (voir la figure 1 dans Livingstone et collab. [2022] pour un croquis illustrant ce phénomène). Elles résultaient du décollement du glacier à l'aval de lobes rocheux particulièrement résistants à l'érosion, phénomène bien connu dans les glaciers alpins où l'on parle de cavitation par une eau turbulente chargée de limon et de sable. Cette eau érode les parois rocheuses de façon très efficace (Lliboutry, 1968). Dans les Laurentides, l'érosion fluvio-glaciaire dans des cavités sous-glaciaires aurait attaqué le marbre plus sensible à l'érosion que les roches silicatées, insolubles et dures, qu'il contient. Le phénomène a possiblement été d'une plus grande extension géographique que ce que nous observons de nos jours, mais une phase d'érosion glaciaire postérieure en aurait détruit les évidences.

De fait, l'hypothèse de roches érodées dans des cavités sous-glaciaires puis détruites par le passage de la glace est supportée par la présence de blocs erratiques portant des marques d'érosion par l'eau. Ils ont été trouvés dans deux sites des collines des Laurentides. Le premier site est au lac de l'île, dans la vallée de la Gatineau. Ce lac ne possède qu'une seule île dont la superficie est proche d'un hectare. Constituée de marbre et de gneiss, l'île s'élève à une dizaine de mètres au-dessus de la surface du lac. Sous l'eau, à 5 m de profondeur, entre l'île et la rive sud du lac, un bloc de plus de 1 m de diamètre présente des traces de dissolution, mais les blocs les plus remarquables sont ceux de plus de 1 m³ exhumés d'un till très limoneux à l'occasion de la construction d'une résidence, située à 20 m au-dessus de la surface du lac et à 300 m de sa rive. L'un d'entre eux n'est constitué que de marbre (figure 4) et un deuxième d'un mélange de roches silicatées et de marbre. À cela s'ajoutent de plus petits blocs. Leur forme générale, tout comme le détail de leur surface, témoigne d'une sculpture par l'écoulement de l'eau avant que l'érosion glaciaire ne les arrache au plancher rocheux. Tout comme aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc, les accumulations glaciaires et fluvio-glaciaires abondent dans les environs immédiats du lac, lequel est dominé par des collines de gneiss et de quelques affleurements de marbre.

Un autre bloc erratique de marbre montrant une évidence d'érosion par l'eau se situe à l'entrée de la municipalité de Luskville, dans la vallée de l'Outaouais, 30 km à l'ouest d'Ottawa. Ce bloc a été exhumé de l'argile de la mer de Champlain lors de la construction d'une résidence. Ses parois montrent au moins 2 coups de gouge de grande dimension (20 à 30 cm), ce qui laisse supposer un courant d'eau très violent. Un petit bloc de roche silicatée, soutenu par une courte colonne de marbre, lui donne l'allure d'un dragon (figure 5).



Photo : J.-L. Courteau

Figure 4. Bloc erratique de marbre, situé au lac de l'île, montrant des signes d'érosion par l'eau sous-glaciaire. Le bloc est formé d'un pinacle de 110 cm de hauteur se dressant sur un ancien plancher rocheux.



Photo : B. Lauriol

Figure 5. Bloc erratique de marbre avec une protubérance formée par un bloc de roche silicatée (Luskville, Québec). Le cercle blanc a été ajouté par les propriétaires du terrain.

Discussion

Les blocs erratiques du lac de l'île et de Luskville montrent que les formes d'érosion différentielle sur le substrat rocheux sont une curiosité géologique qui se rencontre au-delà du secteur formé par les lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc. Dans l'état actuel des connaissances, nous proposons qu'elles s'expliquent par la formation de poches d'eau dans des cavités résultant du décollement de la glace à l'interface de l'inlandsis et de son substratum rocheux. Mais ont-elles existé un siècle? Un ou plusieurs millénaires? Pour l'instant, ces questions sont sans réponses définitives.

Nos observations permettent d'imaginer néanmoins un processus qui se serait déroulé sous la surface de l'inlandsis laurentidien qui a recouvert le nord-est de l'Amérique lors du dernier épisode glaciaire. Le processus aurait été quelque peu différent de celui décrit dans la carrière de Cantley (Sharpe et Leduc, 2018; Sharpe et Shaw, 1989). Ce site, localisé à 20 km au nord de Gatineau, a d'abord connu une phase d'érosion

glaciaire, et une phase d'érosion par un écoulement d'eau sous-glaciaire laminaire (Jean Veillette, communication personnelle). La phase glaciaire a arasé les blocs silicatés inclus dans le marbre, tandis que la phase hydrique les a légèrement déchaussés pour former des queues-de-rat de plusieurs mètres de long. La couche de sable et de gravier qui les a recouverts les a préservés de la météorisation jusqu'à leur exhumation moderne par l'activité humaine (Fulton et collab., 1987). Dans les lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc, le contexte a été différent. Les unités rocheuses ont pris forme dans des poches d'eau formées par cavitation et ont été protégées de la météorisation par l'eau des lacs qui a succédé au retrait de la glace de l'inlandsis.

Finalement, est-ce que l'hydrologie des cavités évoquée par Davison et collab. (2019) dans la zone marginale du sud-ouest de l'inlandsis du Groenland constitue aujourd'hui un analogue à ce que nous observons dans les Laurentides? À cet endroit, des cavités immergées en aval d'obstacles rocheux sont reliées entre elles par un réseau hydrographique de quelques centaines de kilomètres en arrière du front glaciaire. En fut-il de même dans les Laurentides? La très grande abondance des sédiments et des marques d'érosion fluvio-glaciaires dans le fond des vallées permet de se poser la question.

Conclusion

Les observations rapportées par les plongeurs nous ont conduits à émettre l'hypothèse que les roches silicatées dégagées de leur matrice de marbre sont des témoignages de l'existence passée d'une érosion associée à un processus de cavitation sous-glaciaire. Cependant, quelques autres observations laissent entrevoir une histoire plus complexe. Pensons au fait que des sédiments fluvio-glaciaires recouvrent des argiles au lac des Seize Îles, et surtout à ce que le site du lac de l'Île révèle: une destruction de piliers de marbre par l'érosion glaciaire puis un charriage sur quelques centaines de mètres en même temps que celui des argiles silteuses qui leur servent aujourd'hui de matrice. Est-il envisageable que le processus de cavitation ait précédé la formation d'un lac dans lequel se seraient déposées des argiles et qu'un écoulement glaciaire et fluvio-glaciaire (à la suite de la fonte finale de la glace) ait érodé le fond des lacs ou parfois déposé des sédiments?

De fait, les travaux de Montgomery et Korup (2011) suggèrent que des formes sculptées par l'eau peuvent survivre à des épisodes glaciaires, surtout si elles sont recouvertes de sédiments. Cette même explication est prise en compte par Lajeunesse (2014). Ils démontrent que plusieurs vallées dans l'est de l'Amérique du Nord ont conservé des traces d'érosion fluviale en dépit du fait qu'elles ont été recouvertes postérieurement par les dépôts glaciaires de l'inlandsis laurentidien. Cela s'apparente à ce que nous avons observé au fond de lacs des Laurentides: des formes d'érosion hydrique ont survécu au passage du dernier écoulement glaciaire.

La question qui demeure est donc celle de savoir si les formes d'érosion observées aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc sont imputables à une érosion hydrique

subaérienne ayant précédé la dernière glaciation (ou même celles antérieures) ou bien à une érosion hydrique sous-glaciaire. Faute d'éléments de datation absolue, les deux hypothèses se défendent. Néanmoins, compte tenu du fait que le contexte géomorphologique des formes d'érosion décrites par Lajeunesse (2014) est différent de celui que nous avons observé, il est probable qu'une seule et même explication ne convienne pas. Dans un cas, l'érosion hydrique aurait été subaérienne; dans l'autre, elle aurait été sous-glaciaire. Les formes d'érosion de la première ont été préservées par des sédiments glaciaires remplissant des vallées profondes. Les formes d'érosion de la seconde ont été créées et préservées dans un contexte glaciaire en aval d'obstacles rocheux qui aujourd'hui forment des îlots dans trois lacs des Laurentides. Ces formes constituent des curiosités géologiques qui méritent d'être préservées de toute destruction.

Remerciements

Les auteurs remercient la municipalité de Lac-des-Seize-Îles pour le soutien financier en provenance des FDT (Fonds de développement des territoires) apporté à Jean-Louis Courteau dans le cadre de l'élaboration et de l'opération du Centre d'interprétation des eaux laurentiennes (CIEL). Les auteurs remercient Jean Veillette pour la lecture du manuscrit et pour ses notes personnelles. Ils remercient aussi les propriétaires riverains qui ont accepté de collaborer à l'investigation des lacs. Les auteurs aimeraient aussi remercier Henri Lessard (blogue Géo-Outaouais) d'avoir partagé ses connaissances et des photos. Finalement, ils remercient Martin Lavoie, rédacteur en chef adjoint, Patrick Lajeunesse, rédacteur adjoint et un réviseur anonyme pour leurs commentaires scientifiques, de même que les nombreux membres de l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leur contribution au travail d'édition de cet article. ◀

Références

- CORRIVEAU, L., 2013. Architecture de la ceinture métasédimentaire centrale au Québec, province de Grenville: un exemple de l'analyse de terrains de métamorphisme élevé. Commission géologique du Canada, Ottawa, Bulletin 586, 264 p. <https://doi.org/10.4095/226449>.
- COURTEAU, J.L., 2021. Seize îles. Éditions XYZ, Montréal, 182 p.
- DALTON, A.S., M. MARGOLD, C.R. STOKES, L. TARASOV, A.S. DYKE, R.S. ADAMS, S. ALLARD, H.E. ARENDS, N. ATKINSON, J.W. ATTIG et COLLAB., 2020. An updated radiocarbon-based ice margin chronology for the last deglaciation of the North American Ice Sheet Complex. *Quaternary Science Reviews*, 234, Article 106223. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106223>.
- DAVISON, B.J., A.J. SOLE, S.J. LIVINGSTONE, T.R. COWTON et P.W. NIENOW, 2019. The influence of hydrology on the dynamics of land-terminating sectors of the Greenland Ice Sheet. *Frontiers in Earth Science*, 7 (10), 24 p. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00010>.
- DRESSER, J.A. et T.C. DENIS, 1946. La géologie de Québec, géologie descriptive. Ministère des Mines, Québec, Rapport géologique, 20 (2), 647 p. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RG020II/RG020II.pdf>.
- FENSOME, R., G. WILLIAMS, A. ACHAB, J. CLAGUE, D. CORRIGAN, J. MONGER et G. NOWLAN, 2014. Quatre milliards d'années d'histoire. Fédération canadienne des sciences de la Terre. Éditions MultiMondes, Québec, 408 p.

- FULTON, R.J., H.M. FRENCH et P. RICHARD, 1987. Le Quaternaire de l'Outaouais et la description des excursions locales, XII^e Congrès de l'INQUA, Ottawa, Commission géologique du Canada, 31 juillet au 9 août 1987, p. 127-130.
- HOGARTH, D.D., 1962. A guide to the geology of the Gatineau-Lievre District. *The Canadian Field-Naturalist*, 76 (1): 1-55.
- LAJEUNESSE, P., 2014. Buried preglacial fluvial gorges and valleys preserved through Quaternary glaciations beneath the eastern Laurentide Ice Sheet. *Geological Society of America Bulletin*, 126 (3-4): 447-458. <https://doi.org/10.1130/B30911.1>.
- LAURIOL, B. et C. PRÉVOST, 1994. Variabilité de l'érosion actuelle et holocène : le cas des marbres de Grenville en Outaouais québécois. *Géographie physique et Quaternaire*, 48 (3): 297-304. <https://doi.org/10.7202/033010ar>.
- LAURIOL, B. et P. BERTRAND, 2017. Au-delà du paysage : des Laurentides aux basses-terres du Saint-Laurent. Éditions Vents d'Ouest, Gatineau (Québec), 160 p.
- LIVINGSTONE, S.J., Y. Li, A. RUTISHAUSER et COLLAB., 2022. Subglacial lakes and their changing role in a warming climate. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3: 106-124. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00246-9>.
- LLIBOUTRY, L., 1968. General theory of subglacial cavitation and sliding of temperate glaciers. *Journal of Glaciology*, 7: 21-58. <https://doi.org/10.3189/S0022143000020396>.
- MONTGOMERY, D.R. et O. KORUP, 2011. Preservation of inner gorges through repeated Alpine glaciations. *Nature Geoscience*, 4: 62-67. <https://doi.org/10.1038/ngeo1030>.
- PRÉVOST, C.L., 1991. Processus et intensité actuelle et holocène de l'érosion du marbre de Grenville, région de Gatineau-Lièvre, Québec. Thèse de maîtrise, Université d'Ottawa, Ottawa, 278 p. <https://ruor.uottawa.ca/handle/10393/7853>.
- PRICHONNET, G., 1977. La déglaciation de la vallée du Saint-Laurent et l'invasion marine contemporaine. *Géographie physique et Quaternaire*, 31 (3-4): 323-345. <https://doi.org/10.7202/1000281ar>.
- RICHARDSON, K. et P.A. CARLING, 2005. A typology of sculpted forms in open bedrock channels. *Geological Society of America Special Paper*, 392: 108 p. <https://doi.org/10.1130/SPE392>.
- SHARPE, D.R. et G. LEDUC, 2018. Bedrock erosion landforms, Cantley, Québec. Excursion, CANQUA-AMQUA. 12 p. <https://www.cantley1889.ca/images/Sharpe%20Field%20Guide%20Cantley%20Quarry%2018.pdf>.
- SHARPE, D.R. et J. SHAW, 1989. Erosion of bedrock by subglacial meltwater, Cantley, Québec. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 1011-1020. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101%3C1011:EOBB SM%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101%3C1011:EOBB SM%3E2.3.CO;2).



Gervais Comeau Conseiller en placement

gervais.comeau@iagestionprivee.ca - gervaiscomeau.com

iagestionprivee.ca

Survie hivernale d'une tortue de Reeves (*Mauremys reevesii*) au Québec

Myriame Tanguay, Jean-François Desroches, Étienne Marcotte et Mathieu Ouellette

Résumé

Une tortue de Reeves (*Mauremys reevesii*) a été découverte en 2019 et en 2020 sur un terrain résidentiel à Longueuil, au Québec. Les données recueillies suggèrent qu'elle aurait survécu tout l'hiver à l'extérieur. Il s'agit de la première mention documentée de survie hivernale de cette espèce asiatique au Québec.

MOTS CLÉS: espèce exotique, *Mauremys reevesii*, Québec, survie en hiver, tortue de Reeves

Abstract

A Reeves' turtle (*Mauremys reevesii*) was recorded in a residential garden in Longueuil (Québec, Canada) in 2019 and 2020. The information collected suggests that the individual overwintered outside. This is the first documented record of winter survival of this Asiatic species in Québec.

KEYWORDS: exotic species, *Mauremys reevesii*, Québec, Reeves' turtle, winter survival

Introduction

Les conditions hivernales nordiques du Québec sont un frein à la survie de nombreuses espèces de reptiles (Rodrigue et Desroches, 2018). Elles empêchent ainsi l'établissement de plusieurs espèces exotiques qui ne peuvent survivre au froid intense ou à la congélation. Parmi les espèces exotiques envahissantes trouvées au Québec, on remarque la quasi-absence de reptiles (MFFP, 2021) : seule la tortue à oreilles rouges (*Trachemys scripta elegans*) y est officiellement inscrite. L'observation d'un même individu de la tortue de Reeves (*Mauremys reevesii*) en septembre 2019 et en avril 2020 dans une cour extérieure de Longueuil constitue la première observation documentée suggérant la survie hivernale de cette tortue au Québec.

Description de l'espèce

La tortue de Reeves fait partie de la famille des *Geoemydidae* (Lovich et collab., 2011). On la reconnaît aux 3 carènes longitudinales sur sa carapace et aux rayures jaunâtres sur sa tête et son cou (Vander Schouw, 2013). C'est une espèce aquatique qui fréquente divers habitats d'eau douce tels que les rivières à débit lent, les lacs, les étangs, les marais et les marécages (Lovich et collab., 2011 ; Suzuki et collab., 2011). La tortue de Reeves est omnivore et se nourrit d'algues, de plantes et d'animaux morts ou vivants (Lovich et collab., 2011). Ses puissantes mâchoires lui permettent d'ingérer des crustacés ainsi que des escargots (Vander Schouw, 2013). Les insectes aquatiques et terrestres, les vers de terre, les têtards et les grenouilles font aussi partie de son régime alimentaire (Lovich et collab., 2011).

Situation de l'espèce

La tortue de Reeves est originaire d'Asie, mais elle a été introduite à divers endroits. Plus précisément, son aire de répartition naturelle comprend la Chine, la Corée du Nord et

la Corée du Sud (Lovich et collab., 2011). Bien qu'abondante et largement répandue au Japon, il s'agit probablement du résultat d'introductions anciennes provenant de multiples sources continentales (Suzuki et collab., 2011). L'hypothèse de l'introduction est également privilégiée pour expliquer sa présence à Taïwan (Fong et Chen, 2010). Elle aurait également été introduite au Timor-Leste, en Indonésie et aux Palaos (van Dijk et collab., 2014). Depuis quelques années, sa situation est considérée comme préoccupante en Asie en raison de la perte d'habitat et du prélèvement pour le commerce des aliments et des animaux de compagnie (Lovich et collab., 2011). En Chine, elle se trouve d'ailleurs à l'Annexe III de la Convention internationale sur le commerce des espèces menacées (CITES) (CITES, 2013). Depuis 2011, la tortue de Reeves a été ajoutée à la liste rouge de l'UICN avec la mention en danger (van Dijk, 2011).

La tortue de Reeves a été introduite en Amérique du Nord (Kaiser et collab., 2010) et elle est appréciée comme animal de compagnie. Au Canada, la tortue de Reeves est désignée comme étant une espèce introduite en Colombie-

Myriame Tanguay est technicienne en bioécologie, expérimentée en herpétologie, co-auteure de rapports et d'articles sur les amphibiens et les reptiles ainsi que présidente du Groupe ELISO.

myriametanguay@hotmail.com

Jean-François Desroches est biologiste, spécialisé en herpétologie et chargé de projets pour le Groupe ELISO, co-auteur du livre « Amphibiens et reptiles du Québec et des Maritimes ».

Étienne Marcotte est enseignant en philosophie au cégep Édouard-Montpetit.

Mathieu Ouellette est passionné des amphibiens et des reptiles depuis son tout jeune âge. Il travaille dans le domaine de la géomatique.

Britannique, suggérant que l'espèce survit aux hivers dans cette région du Canada (The Western Painted Turtle Recovery Team, 2016). Elle a aussi été aperçue en nature dans certaines régions des États-Unis (Kaiser et collab., 2010). Au Québec, l'espèce n'avait encore fait l'objet d'aucune mention en milieu naturel.

Observations faites en 2019 et en 2020

Le 6 septembre 2019, l'un des auteurs (É. M.) a découvert une tortue dans son jardin, cachée sous un amas de feuilles de bette à cardes, dans un potager en butte, sur son terrain à Longueuil, Québec. Il a été intrigué par cette première observation d'une tortue à cet endroit, en plein quartier urbain densément peuplé. De plus, aucun milieu humide n'est cartographié et le fleuve Saint-Laurent se trouve à 1,8 km à vol d'oiseau, sur un territoire parsemé de nombreuses routes et coupé par l'autoroute 132. Il a photographié la tortue et l'a laissée sur place. Il a ensuite publié son observation sur la page Facebook « Faune inusitée au Québec » (figure 1). Personne n'avait alors réussi à déterminer de quelle espèce il s'agissait à partir des photographies, la tortue y étant cachée en partie par le feuillage. Le 28 avril 2020, il a retrouvé la tortue dans son jardin, au même endroit. Le trou dans lequel elle se trouvait avait de 20 à 25 cm de profondeur. Une marque caractéristique sur la dossière de la tortue indiquait qu'il s'agissait fort probablement du même individu. La tortue est demeurée sur

son terrain durant quelques semaines et a été observée pendant plusieurs jours.

Ces nouvelles observations ont été publiées sur les réseaux sociaux. La publication n'est pas passée inaperçue : une équipe de spécialistes en herpétologie a identifié le spécimen comme étant une tortue de Reeves et a contacté rapidement É. M. afin d'obtenir plus de détails sur ce spécimen. C'est ainsi que les auteurs du présent manuscrit se sont associés dans le but de documenter lesdites observations. Afin de retrouver la tortue et ses potentiels propriétaires, un avis de recherche a été distribué en mai 2020 dans le quartier où elle avait été aperçue (figure 2).

Le 12 juillet 2020, les propriétaires de la tortue se sont manifestés, ayant reconnu leur tortue sur l'affiche distribuée dans plusieurs boîtes à courrier du quartier. Ils ont indiqué qu'ils s'étaient procuré la tortue il y a plus de 30 ans. Durant l'hiver, celle-ci était à l'intérieur et n'hibernait pas. Durant l'été, la tortue était gardée dans un étang clôturé dans leur cour. Cette dernière s'est échappée de son enclos en août 2019 par un trou creusé sous la clôture. Le 19 juillet 2020, les propriétaires se sont rendus sur le terrain où la tortue avait été observée et ont placé de la viande pour l'attirer. Peu de temps après, l'animal a été retrouvé au même endroit. La tortue était probablement cachée tout près et a été attirée par l'appât.

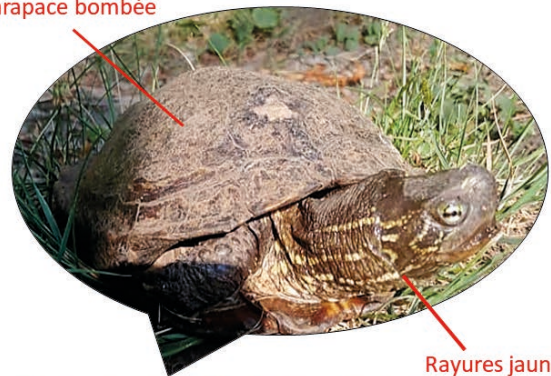


Photo : Étienne Marcotte

Figure 1. La tortue de Reeves (*Mauremys reevesii*), lors de sa découverte dans un potager à Longueuil.

Avez-vous vu cette tortue?

Carapace bombée



Rayures jaunes

Si vous avez vu cette tortue dans le quartier (ou êtes le propriétaire), veuillez s.v.p contacter notre équipe. Nous sommes des scientifiques intrigués par cette tortue et aimerions documenter ses habitudes.

Merci pour votre collaboration!

Jean-François Desroches (Biologiste)
triseriata@hotmail.com
1 (819) 919-6812

Photo : Étienne Marcotte; conception de l'affiche : Myriame Tanguay

Figure 2. L'affiche distribuée dans le quartier où la tortue a été vue à Longueuil.

Discussion

Analyse de la situation

La distance entre le lieu de disparition de la tortue de Reeves en août 2019 et sa découverte en septembre 2019 (puis en avril 2020) est de 130 m en ligne droite. Lors de son périple, la tortue a dû traverser 2 rues, en plein quartier urbanisé. Les observations de cette tortue au même endroit en septembre 2019 et en avril 2020 suggèrent qu'elle a passé l'hiver là ou non loin de là. L'absence de plans d'eau naturels à proximité laisse présager qu'elle a survécu durant l'hiver enfouie dans le sol. C'est d'ailleurs à demi enfouie qu'elle avait été vue en avril 2020. Il est à noter que les tortues d'eau douce hibernent habituellement sous l'eau, quoique certaines observations d'individus hibernant en milieu terrestre aient été rapportées (Ultsch, 1989). Pour ce qui est de *M. reevesii*, Haramura et collab. (2010) ont pu observer 2 mâles hiberner dans une partie peu profonde d'une rivière au Japon (Haramura et collab., 2010).

Lors de sa découverte finale par ses propriétaires le 19 juillet 2020, la tortue avait la patte arrière gauche amputée. Il est possible que ce soit une blessure causée par un prédateur, potentiellement un raton laveur (*Procyon lotor*), une mouffette rayée (*Mephitis mephitis*) ou un autre animal. Ce type de blessure est observé chez les tortues en milieu naturel. Il y a également la possibilité que le membre ait subi une engelure ayant causé l'amputation.

Potentiel d'établissement de l'espèce au Québec

L'introduction d'espèces exotiques est une problématique globale (Seburn et Seburn, 2000). Le territoire québécois en est partiellement protégé par son climat annuel inhospitalier pour la majorité des reptiles. Toutefois, les changements climatiques pourraient permettre, dans le futur, l'établissement de nouvelles espèces (Poland et collab., 2021). Les animaux faisant l'objet d'une commercialisation sont donc sujets à se retrouver et à survivre dans de nouveaux territoires.

La présente observation suggère que la tortue de Reeves possède la capacité de survivre à l'hiver dans le sud du Québec, et ce, même si les températures moyennes observées durant les mois correspondant généralement à sa période d'hibernation sont plus élevées dans le nord de son aire de répartition naturelle qu'à Longueuil. En effet, les températures minimales sont plus élevées ($M = 5,3^{\circ}\text{C}$, $ET = 1,9^{\circ}\text{C}$) de même que les températures maximales ($M = 7,7^{\circ}\text{C}$, $ET = 1,6^{\circ}\text{C}$) qu'à Longueuil (NOAA, 2022). Toutefois, nous jugeons très peu probable que cette espèce puisse s'établir et devenir une espèce envahissante dans la province. En effet, au Canada, l'importation de tortues à des fins commerciales est interdite depuis des décennies. La tortue de Reeves est relativement rare sur le marché et est majoritairement offerte à la vente par des animaleries ou des éleveurs spécialisés. Selon nos recherches, un nouveau-né se vend actuellement entre 140 \$ et 250 \$. À titre de comparaison, la situation de la tortue de Reeves sur le marché des reptiles de compagnie diffère donc de celle de

la tortue à oreilles rouges, dont les nouveau-nés étaient jadis disponibles dans la majorité des animaleries pour une somme modique. Ainsi, il apparaît peu probable que de nombreuses tortues de Reeves se trouvent en nature au Québec.

De plus, même si la présente observation suggère que l'espèce pourrait dans certaines conditions survivre à l'hiver, il faudrait également que les individus arrivent à se reproduire avec succès pour que la tortue de Reeves soit considérée comme une espèce envahissante. Néanmoins, la survie hivernale en nature de la tortue de Reeves demeure importante à consigner puisqu'il s'agit d'une condition sine qua non à l'établissement d'une espèce de reptile exotique au Québec.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Elizabeth Beauchamp et Nicolas Lamarre-Tremblay, les propriétaires de la tortue, pour les précieux renseignements obtenus. Ils sont également reconnaissants envers l'équipe de rédaction du *Naturaliste canadien* pour leur contribution à l'édition finale du document, de même qu'à Marc J. Mazerolle et à un réviseur anonyme pour leurs commentaires et suggestions. ◀

Références

- [CITES] CONVENTION SUR LE COMMERCE INTERNATIONAL DES ESPÈCES DE FAUNE ET DE FLORE SAUVAGES MENACÉES D'EXTINCTION, 2013. Annexes I, II et III. <https://www.cites.org/sites/default/files/fra/app/2013/F-Appendices-2013-06-12.pdf>.
- FONG, J.J. et T.-H. CHEN, 2010. DNA evidence for the hybridization of wild turtles in Taiwan: Possible genetic pollution from trade animals. *Conservation Genetics*, 11 : 2061-2066. <https://doi.org/10.1007/s10592-010-0066-z>.
- HARAMURA, T., M. YAMANE et A. MORI, 2010. Radiotelemetric study of movement patterns of lotic freshwater turtles during breeding and hibernation seasons. *Journal of Freshwater Ecology*, 25 : 251-259. <https://doi.org/10.1080/02705060.2010.9665075>.
- KAISER, H., V. LOPEZ CARVALHO, P. FREED et M. O'SHEA, 2010. A widely traveled turtle: *Mauremys reevesii* (Testudines: Geoemydidae) in Timor-Leste. *Herpetology Notes*, 3 : 93-96.
- LOVICH, E.J., Y. YASUKAWA et H. OTA, 2011. *Mauremys reevesii* (Gray 1831) – Reeves' Turtle, Chinese Three-keeled Pond Turtle. Dans : RHODIN, A.G.J., P.C.H. PRITCHARD, P.P. VAN DIJK, R.A. SAUMURE, K.A. BUHLMANN, J.B. IVERSON et R.A. MITTERMEIER (édit.). 2014. *Conservation biology of freshwater turtles and tortoises: A compilation project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group*. Chelonian Research Monographs N° 5, p. 050.1 à 050.10.
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2021. Liste des espèces exotiques envahissantes animales. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/>. [Visité le 2021-12-01].
- [NOAA] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2022. National Centers for Environmental Information. Disponible en ligne à : <https://www.ncei.noaa.gov/>. [Visité le 2022-06-22].
- POLAND, T.M., T. PATEL-WEYNAND, D.M. FINCH, C. FORD MINIAT, D.C. HAYES et V.M. LOPEZ (éditeurs), 2021. *Invasive species in forests and rangelands of the United States: A comprehensive science synthesis for the United States forest sector*. Éditions Springer, Suisse, 455 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45367-1>.
- RODRIGUE, D. et J.-F. DESROCHES, 2018. *Amphibiens et reptiles du Québec et des Maritimes*. Éditions Michel Quintin, Montréal, 375 p.

- SEBURN, D. et C. SEBURN, 2000. Conservation priorities for the amphibians and reptiles of Canada. World Wildlife Fund Canada et Canadian Amphibian and Reptile Conservation Network, 92 p.
- SUZUKI, D., H. OTA, H.-S. OH et T. HIKIDA, 2011. Origin of Japanese populations of Reeves' Pond Turtle, *Mauremys reevesii* (Reptilia : Geoemydidae), as inferred by a molecular approach. Chelonian Conservation and Biology, 10 (2) : 237-249. <https://doi.org/10.2744/CCB-0885.1>.
- THE WESTERN PAINTED TURTLE RECOVERY TEAM, 2016. Recovery plan for the Painted Turtle – Pacific Coast population (*Chrysemys picta* pop. 1), in British Columbia. B.C. Ministry of Environment, Victoria, 89 p. Disponible en ligne à : <https://a100.gov.bc.ca/pub/eirs/finishDownloadDocument.do;jsessionid=F3888F1DA23EE17CD6DFFCFE64EEB495?subdocumentId=10602>.
- ULTSCH, G.R., 1989. Ecology and physiology of hibernation and overwintering among freshwater fishes, turtles, and snakes. Biological Reviews 64 (4) : 435-515. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1989.tb00683.x>.
- VANDER SCOUW, P., 2013. Reeve's turtle care. <https://www.reptilesmagazine.com/reeves-turtle-care/>. [Visité le 2021-12-01].
- VAN DIJK, P.P., 2011. *Mauremys reevesii* –, The IUCN Red List of Threatened Species 2011. <https://www.iucnredlist.org/species/170502/97431862>.
- VAN DIJK, P.P., J.B. IVERSON, A.G.J. RHODIN, H.B. SHAFFER et R. BOUR, 2014. Turtles of the world, 7th Edition: Annotated checklist of taxonomy, synonymy, distribution with maps, and conservation status. Dans : RHODIN, A.G.J., P.C.H. PRITCHARD, P.P. VAN DIJK, R.A. SAUMURE, K.A. BUHLMANN, J.B. IVERSON et R.A. MITTERMEIER (édit.). 2014. Conservation biology of freshwater turtles and tortoises: A compilation project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group. Chelonian Research Monographs N° 5, p. 382-383.

Densité de population de la chouette rayée (*Strix varia*) au mont Saint-Bruno

François Morneau, Pierre Wery et Donald Rodrigue

Résumé

L'écologie de la chouette rayée (*Strix varia*) est peu documentée bien que l'espèce soit largement répandue en Amérique du Nord. L'abondance des couples territoriaux de cette espèce a été estimée au mont Saint-Bruno (Québec) pendant 6 années (2016-2021), principalement par la recherche de nids. Elle a fluctué quelque peu durant l'étude, pour atteindre un maximum de 24 en 2020 et en 2021. Cela correspond à une densité de population qui varie de 2,2 couples territoriaux/km² pour l'aire d'étude à 3,0/km² dans sa partie centrale. Ces valeurs sont les plus élevées rapportées pour l'espèce. La distance moyenne séparant les nids voisins se chiffrait pour ces 2 années à 622 m et à 640 m respectivement (minimum : 332 m). Ces fortes densités peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment l'âge avancé des peuplements forestiers et l'éclaircissement du sous-bois résultant du broutage par le cerf de Virginie. La présence d'individus non territoriaux suggère une légère sous-estimation de l'abondance et donc de la densité, de même que leur stabilité.

MOTS CLÉS : chouette rayée, couple territorial, distance internids, individu non territorial, recherche de nids, *Strix varia*

Abstract

Although the barred owl (*Strix varia*) is widely distributed across North America, its ecology is relatively poorly documented. The present study estimated the abundance of territorial pairs on Mont Saint-Bruno (Québec, Canada) over a 6-year period (2016-2021). The principal technique used was nest-searching. The number of pairs fluctuated somewhat, reaching a maximum of 24 in 2020 and 2021. This corresponds to a population density of 2.2 territorial pairs/km² for the whole of the study area and 3.0/km² for the central portion. These values are the highest reported for the species. The mean distance between neighbouring nests was 622 m in 2020, and 640 m in 2021. The minimum inter-nest distance was 332 m. These high densities can be explained by several factors, including the advanced age of the forest stands and the sparse undergrowth resulting from browsing by white-tailed deer. The presence of non-territorial individuals (floaters) suggests a slight underestimation of abundance and therefore of density, and a high population stability.

KEYWORDS: barred owl, floaters, inter-nest distance, nest-searching, *Strix varia*, territorial pairs

Introduction

La chouette rayée (*Strix varia*) vit seulement en Amérique du Nord. Dans l'est du continent, son aire de reproduction s'étend du sud de la forêt boréale au Québec et en Ontario à la Floride. Dans l'ouest, elle comprend une mince bande de forêts boréales au nord des Prairies, l'ouest de l'Alberta, la Colombie-Britannique, le sud du Yukon et le nord de la cordillère occidentale aux États-Unis (Mazur et James, 2000). Elle habite les forêts vieilles ou matures à la canopée fermée, tant feuillues que mixtes, mais moins souvent résineuses (Livezey, 2007; Mazur et James, 2000). On l'associait naguère à l'intérieur des forêts et elle semblait même éviter les zones développées (Bosakowski et Smith, 1997; Livezey, 2007; Mazur et James, 2000). Toutefois, des études récentes révèlent que cet oiseau peut prospérer dans des forêts suburbaines et fragmentées, et même dans des villes (Bierregaard, 2018; Clément et collab., 2019; 2021; Dykstra et collab., 2012). De plus, selon le *Relevé des oiseaux nicheurs de l'Amérique du Nord*, les populations de la chouette rayée auraient augmenté annuellement, en moyenne de 1970 à 2019, de 3,0 % au Canada et de 2,45 % au Québec (Smith et collab., 2020). Malgré la vaste aire de reproduction de la chouette rayée, sa proximité avec l'humain et les tendances de ses effectifs, plusieurs paramètres

de ses populations ne sont pas encore bien documentés, y compris la densité de population.

Chez les oiseaux de proie, la population comprend généralement 2 composantes : les couples territoriaux et les individus non territoriaux (en anglais : *floaters*). Ces derniers, comme l'indique leur nom, ne sont pas cantonnés (Newton, 1979). De ce fait, l'estimation de la densité des individus non territoriaux est ardue. Par conséquent, elle se limite habituellement aux couples territoriaux. La densité s'exprime par le nombre de couples par unité de superficie ou au moyen de la distance séparant les couples, particulièrement l'intervalle entre 2 nids utilisés (Newton, 1979). Elle repose donc sur la connaissance de l'abondance des couples ou des nids.

Il existe plusieurs techniques pour dénombrer les couples territoriaux d'oiseaux de proie, mais l'une des plus précises s'appuie sur la recherche de nids (Kochert, 1986).

François Morneau est biologiste retraité.

morneau_francois@videotron.ca

Pierre Wery est garde-parc au parc du Mont-Saint-Bruno à la Société des établissements de plein air du Québec (Sépaq).

Donald Rodrigue est biologiste retraité de la Sépaq.

Ceux de la chouette rayée s'avèrent particulièrement difficiles à découvrir, principalement parce que la femelle lorsqu'elle couve est rarement visible du sol et que le couple ne laisse habituellement aucun indice de présence à proximité du nid (Bent, 1938; Frith et collab., 1997). Ceci explique sans doute que les quelques valeurs de densité de population présentées dans la littérature scientifique pour cette espèce ont été obtenues à l'aide de méthodes relatives. La densité a ainsi été évaluée à 0,142 couple/km² dans le nord du New Jersey, à partir de stations d'écoute (Bosakowski et collab., 1987). En Oklahoma, elle a été estimée à 0,6 couple/km² en 1995 et à 1,0 couple/km² en 1996, en employant une méthode similaire mais avec plusieurs visites par station (Winton et Leslie, 2004). Dans cette dernière étude, un seul nid a été découvert en 2 ans.

La densité de population de la chouette rayée est aussi calculée à partir de domaines vitaux moyens déterminés par télémétrie (Haney, 1997; Livezey, 2007). Ces derniers sont caractérisés individuellement mais parfois attribués à des couples. Il aurait fallu en plus supposer qu'il n'y a pas de chevauchement entre eux et qu'ils sont tous contigus. Les auteurs n'ont pas mentionné ces prémisses. Dans l'est du continent, cette approche a mené à des densités estimées de 0,37 couple/km² au Minnesota (Nicholls et Fuller, 1987); de 0,35 couple/km² au Michigan (Elody et Sloan, 1985) et de 0,9 couple/km² dans une banlieue de Charlotte, en Caroline du Nord (Harrold, 2003). En Caroline du Sud, 1,1 couple/km² a été calculé dans un paysage amplement urbanisé, mais en incluant seulement les domaines vitaux adjacents et en excluant ceux qui sont isolés et le reste de l'aire d'étude (Clément et collab., 2021).

La présente étude a pour objectif d'estimer l'abondance et la densité de population des couples territoriaux de la chouette rayée au mont Saint-Bruno, principalement à l'aide d'une méthode basée sur le dénombrement des nids, une première pour cette espèce.

Aire d'étude

L'aire d'étude s'étend sur 11,1 km² dans le domaine bioclimatique de l'érablière à caryer cordiforme (Robitaille et Saucier, 1998); elle comprend le mont Saint-Bruno et les zones boisées qui l'encerclent (figure 1). Le parc national du Mont-Saint-Bruno en couvre la majeure partie (71 %). La forêt de l'aire d'étude occupe 9,5 km² (86 %). Des zones urbaines, des friches, des terres agricoles et une carrière l'entourent. Seulement 7,6 % de son périmètre (25,7 km) est cerné de tissu forestier (figure 1). L'érable à sucre (*Acer saccharum*), le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia*) et le chêne rouge (*Quercus rubra*) dominent la plupart des peuplements forestiers de l'aire d'étude. Les conifères comptent pour moins de 3 % des arbres et se composent essentiellement de la pruche du Canada (*Tsuga canadensis*) et du pin blanc (*Pinus strobus*). Le sous-bois est très clairsemé, la visibilité y atteignant fréquemment plus de 100 m.

La principale perturbation naturelle ou d'origine anthropique qui a altéré l'aire d'étude depuis 1980 est une grosse tempête de pluie verglaçante qui a entraîné une épaisse

couche de verglas en 1998, mais elle a laissé peu de cicatrices. Au cours des dernières années, l'agrile du frêne (*Agrilus planipennis*) a tué de nombreux frênes (*Fraxinus* spp.), ce qui a créé des trouées ponctuelles dans le tissu forestier, particulièrement dans les marécages. Étant donné l'absence de perturbations majeures ou modérées, 34 ans ont été ajoutés à l'âge minimal des peuplements forestiers d'une carte forestière produite en 1987 (Gratton, 1987). Actuellement, la majeure partie de la forêt serait ainsi âgée de plus de 110 ans. Plusieurs peuplements excèderaient même 135 ans. Des dizaines d'arbres mesurent plus de 1 m de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) (F. M., données non publiées). La forêt est généralement beaucoup plus jeune à la périphérie de l'aire d'étude.

Les milieux ouverts incluent essentiellement un terrain de golf, des pistes de ski alpin, des aires de pique-nique et de stationnement ainsi que des vergers, ces derniers en partie abandonnés et en reprise forestière. Ils composent 7,6 % de l'aire d'étude. Les plans d'eau comprennent 5 lacs et quelques étangs qui couvrent ensemble 70,5 ha (6,4 % de l'aire d'étude); le plus grand lac mesurant à lui seul 42 ha.

Le réseau de sentiers s'étend sur au moins 50 km, dont 35 dans le parc national du Mont-Saint-Bruno. Il a permis d'accéder à la plupart des territoires des chouettes et de se déplacer facilement le soir et la nuit. Une seule route publique coupe l'aire d'étude, dans sa partie sud. Le parc inclut 9 propriétés privées dont le couvert arborescent est très développé. Les principales activités humaines sont la randonnée pédestre, le ski de fond, la course à pied et l'observation de la nature.

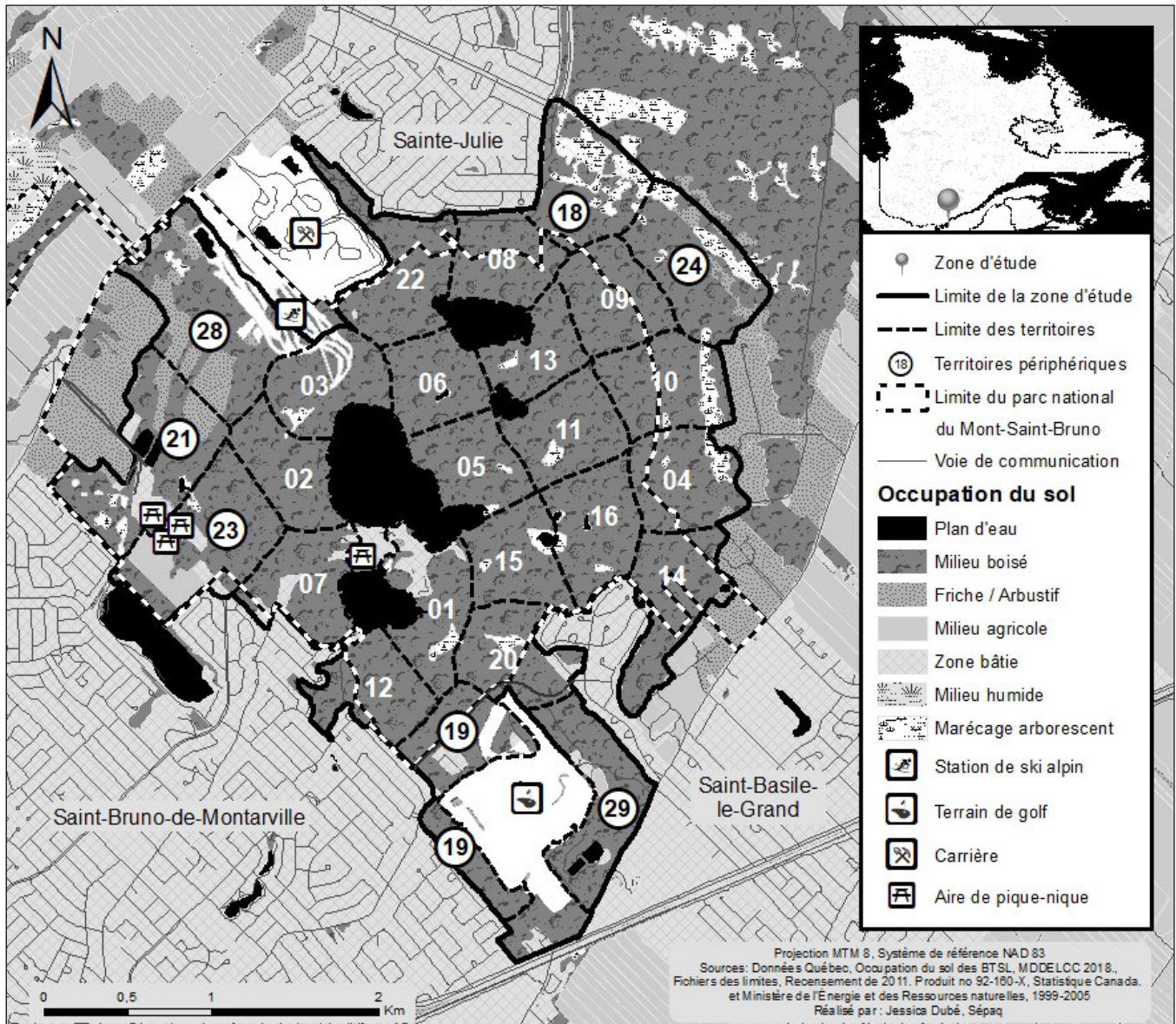
Méthodes

Dénombrement des couples territoriaux

En 2016, la campagne de terrain a débuté à la fin mars alors que les 5 années suivantes elle a été amorcée dans la dernière semaine de février. Elle s'est terminée à la fin août ou au début septembre pour les 6 années de l'étude. L'unité de l'abondance est le couple territorial. Il est préférable au vocable couple nicheur, car certaines années, aucune reproduction n'a été décelée (Mazur et James, 2000; Postupalsky et collab., 1997). Trois approches complémentaires ont été employées pour dénombrer les couples territoriaux: la recherche de nids, les vocalisations territoriales et la recherche de jeunes chouettes après leur départ du nid. La plus grande partie de l'effort a été allouée à la recherche de nids.

Recherche de nids

La chouette rayée niche essentiellement à l'intérieur de cavités d'arbres, occasionnellement sur des plates-formes de branches construites par d'autres espèces d'oiseaux ou des écureuils et rarement à d'autres emplacements (Livezey, 2007; Mazur et James, 2000; Postupalsky et collab., 1997). Dans l'aire d'étude, les nids ont été découverts seulement dans des cavités. La recherche de nids consiste en 2 opérations: le repérage des sites de nidification où les activités associées à la reproduction se déroulent (la parade, la copulation,



les échanges de nourriture entre mâle et femelle, etc.) et la recherche de nids proprement dite dans ces sites.

En 2016, la première année de l'étude, quelques sites de nidification et des nids ont été repérés à partir de données historiques (F. M., données non publiées; P. W., Sépaq, données non publiées); la chouette rayée peut en effet nicher durant des décennies au même endroit et utiliser une cavité pendant plusieurs années, consécutives ou non (Bent, 1938; Mazur et James, 2000; Postupalsky et collab., 1997).

En 2016 et en 2017, la plupart des sites de nidification ont été localisés en se basant sur la méthode de Frith et collab. (1997). Celle-ci consiste en 2 ou 3 visites crépusculaires ou nocturnes au cours desquelles leur localisation est graduellement précisée. Lors de la première visite, des enregistrements de vocalisations territoriales de l'espèce sont émis à une station

afin de provoquer une réponse du couple local. Le cas échéant, une seconde visite a lieu à l'endroit où il a été entendu. Enfin, si nécessaire, une dernière séance d'écoute passive au crépuscule permet de préciser l'emplacement du site de nidification grâce à la direction des vocalisations et à l'évaluation de la distance entre celles-ci et l'observateur. Les modifications suivantes ont été apportées à la méthode: les stations étaient habituellement séparées de 0,5 km plutôt que de 1,0 km; l'activité s'est déroulée parfois le jour plutôt que seulement le soir ou la nuit et en 1 ou 2 visites. À partir de 2018, seule l'écoute passive a été poursuivie dans la plupart des territoires, habituellement entre 1 h avant et 30 min après le coucher du soleil ou jusqu'au moment où les chouettes deviennent difficiles à repérer en raison de l'obscurité.

Les observateurs ont découvert la majorité des nids en suivant un mâle qui transportait une proie ou une femelle hors cavité, sortie pour un échange de nourriture, une rencontre avec le mâle et quelquefois après avoir été attirée par l'émission de vocalisations enregistrées ou d'imitations. Dans plusieurs situations, la femelle hululait dans la cavité ou elle était visible du sol, révélant son nid. Enfin, d'autres nids ont été repérés grâce à la vue d'une tectrice ou de jeunes chouettes à l'entrée d'une cavité, ou encore grâce à des cris de quémante à l'intérieur de cette dernière. Le cognement avec une branche sur des troncs d'arbres pourvus d'une cavité pour déloger une éventuelle femelle (Frith et collab., 1997) a été exceptionnellement employé, car cette technique est perturbante et peu efficace (F. M., données non publiées, Devereux et Mosher, 1982); l'expérience a en effet révélé que certaines femelles sont indélogeables.

Vocalisations territoriales

La technique consiste à différencier les couples voisins à l'aide de leurs hululements territoriaux lorsque ces derniers ou les mâles se répondent (Bosakowski et collab., 1987). La femelle est distinguée du mâle par son hululement plus aigu avec une note terminale plus longue (Odom et Mennill, 2010) après un calibrage lors de quelques séances réalisées tôt au printemps, au moment où les 2 sexes vocalisent. Un

avantage de cette technique réside dans le fait que les chouettes rayées peuvent hululer à toute heure de la journée, mais plus fréquemment en début et en fin de nuit (Odom et Mennill, 2010), et pendant une grande partie de l'année (Mazur et James, 2000). Les hululements ont parfois été provoqués par l'émission d'enregistrements ou d'imitations au cours des 2 premières années de l'étude mais rarement après.

Recherche des jeunes

Plusieurs couples ont été différenciés grâce à la présence de jeunes chouettes après leur départ du nid (figure 2). La façon la plus courante consistait à repérer au cours d'une même soirée 2 ou plusieurs groupes de jeunes en vérifiant ultérieurement que le ou les premiers observés étaient toujours au même endroit. Quelquefois la vérification n'était pas nécessaire, car leur nombre ou leur âge étaient distincts ou parce qu'ils ne pouvaient pas encore voler. Les observateurs repéraient les jeunes chouettes grâce à leur cri de quémante de nourriture (Mazur et James, 2000). Bien que ce cri puisse occasionnellement être entendu le jour, il est émis beaucoup plus fréquemment le soir, soit environ 30 min avant le coucher du soleil et au moins jusqu'à 2 h après. Dans l'aire d'étude, la meilleure période pour détecter les jeunes couvre la dernière semaine de juin et le mois de juillet.



Photo : François Morneau

Figure 2. Jeune chouette rayée âgée d'environ 9 semaines.

Distance entre les nids

La distance entre les nids voisins a été mesurée à l'aide d'un GPS (Garmin, modèle 60CSx). Les coordonnées ont été notées lorsque l'appareil indiquait une erreur de moins de 8 m (minimum 4 m). Deux nids étaient considérés comme voisins si les territoires dans lesquels ils se trouvaient avaient une frontière commune. Ce qui exclut ceux séparés par un lac dont la largeur est de plus de 150 m.

Recherche d'individus non territoriaux

Quelques observations fortuites de 3 chouettes rayées dans un même territoire, au cours d'une visite tôt au printemps, ont incité à la recherche d'autres cas. Celle-ci a été entreprise en janvier et en février 2021 dans 4 territoires retenus pour leur accessibilité en hiver. Ils étaient couverts à pied ou en raquettes, sur des transects plus ou moins équidistants de 70 m, de façon à pouvoir scruter chaque arbre à la recherche de l'espèce. Cette opération se déroulait entre 8 h et 15 h, période pendant laquelle les oiseaux sont perchés et au repos. Elle se terminait par l'observation d'un troisième oiseau ou par la couverture complète du territoire, ce qui pouvait nécessiter jusqu'à 5 heures. Aussi, un seul pouvait être parcouru par jour et par personne. Une grande précaution était de mise pour éviter d'effaroucher les chouettes. Chacune était photographiée sur son perchoir et sa localisation notée par des coordonnées estimées par GPS. Lorsque plus d'un individu était localisé, l'observateur revenait sur ses pas pour s'assurer que le ou les premiers étaient toujours sur les mêmes perchoirs, ce qui pouvait être vérifié par la photo et les coordonnées GPS.

Analyse des données

La plupart des observations ont été géoréférencées à l'aide d'un appareil GPS et positionnées à l'aide de Google Earth. Les coordonnées ont été notées lorsque l'appareil indiquait une erreur de moins de 8 m ou moins (minimum 4 m). Une seule représentation des territoires a été esquissée pour la période d'étude, car leurs limites changent peu d'une année à l'autre et même d'une décennie à l'autre (Nicholls et Fuller, 1987). Elle repose donc sur l'ensemble des résultats, mais surtout sur les manifestations territoriales.

Les couples de chouette rayée ont été qualifiés chaque année selon 3 degrés de certitude de leur présence: confirmé, probable ou possible. Un couple est désigné confirmé pour une année lorsqu'un nid est découvert ou que des jeunes sont observés dans son territoire et qu'ils sont différents de ceux de tous ses voisins ou encore lorsque des vocalisations territoriales permettent de le distinguer de tous ses voisins. Il se classe comme probable si le couple est observé, mais que le nid n'est pas repéré ni de jeunes aperçus et que la dernière condition n'est pas entièrement remplie. Enfin, le degré de certitude possible est similaire au second à la différence qu'un seul individu territorial est observé.

La densité a été estimée seulement pour les 2 dernières années de l'étude, car auparavant, la connaissance du nombre de couples était en progression. L'espèce ne fréquente pas les

milieux ouverts sans arbres (Mazur et James, 2000). L'effet de la superficie des milieux ouverts sur la densité a été analysé en comparant celle-ci dans 3 lieux: 1) l'aire d'étude au complet; 2) idem sans les grands milieux terrestres ouverts (> 35 m de largeur); 3) idem en excluant 7 territoires périphériques, les grands milieux terrestres ouverts et les lacs; ce dernier lieu sera désormais désigné par les 18 territoires centraux. L'incidence de l'âge des peuplements sur la densité a été analysée en comparant celle des 18 territoires centraux (surtout > 110 ans) à celle des 7 territoires périphériques (surtout < 80 ans) sans le terrain de golf.

Résultats

Abondance des territoires et des couples

L'effort consacré à déterminer les territoires et les couples territoriaux a augmenté progressivement de 2016 à 2018 pour se stabiliser à près de 400 heures par année, sauf en 2021 où le nombre d'heures a diminué, en partie parce que la majorité des cavités étaient des réutilisations (annexe). Il totalise 1935 heures sur le terrain.

Pendant la période d'étude, les couples de chouette rayée ont occupé 25 territoires (figure 1). Au moins 1 individu territorial a été repéré chaque année dans 23 territoires durant la saison de reproduction. Le nombre maximal de couples a été observé en 2020 et en 2021, soit 24 (probables ou confirmés) (figure 3). Les plus faibles valeurs ont été observées en 2017 et en 2019, coïncidant avec 2 années de faible reproduction. Dans 4 territoires (n^{os} 19, 20, 28 et 29), les couples n'ont pu être confirmés qu'une ou 2 années au cours de l'étude. Dans l'un d'eux (n^o 19), une chouette a été trouvée morte au milieu d'une route, le 25 mars 2021.

Des zones résidentielles limitent une partie de 13 territoires (figure 1). Des lacs, y compris une ancienne carrière inondée, en longent aussi 13. Trois lacs entourent partiellement l'un de ces derniers (n^o 6). Enfin, des zones agricoles ou des friches jouxtent 6 territoires. Des chouettes rayées ont été aperçues en train de chasser sur la plupart des 9 propriétés privées enclavées dans le parc. Un nid a même été découvert en 2020 à 8 m d'une des résidences. Avant la période d'étude, un couple a occupé pendant plusieurs saisons une cavité située sur une autre de ces propriétés.

Le parc national du Mont-Saint-Bruno enclave complètement 11 des 25 territoires, 8 autres y ont plus de 50 % de leur superficie, 4 y ont moins de 50 % et 2 se trouvent à l'extérieur. La forêt est plus vieille dans 18 territoires comprenant le centre de l'aire d'étude et une partie de sa périphérie. Peu de peuplements forestiers y sont âgés de moins de 100 ans. L'un des territoires est couvert uniquement de peuplements de plus de 135 ans. À l'inverse, les 7 autres territoires, tous situés à la périphérie, se composent en bonne partie de peuplements de moins de 80 ans.

La plupart des couples ont été confirmés par la découverte de leurs nids ou de l'observation de leur progéniture (tableau 1). Les vocalisations territoriales seules n'ont permis de confirmer qu'une poignée de couples.

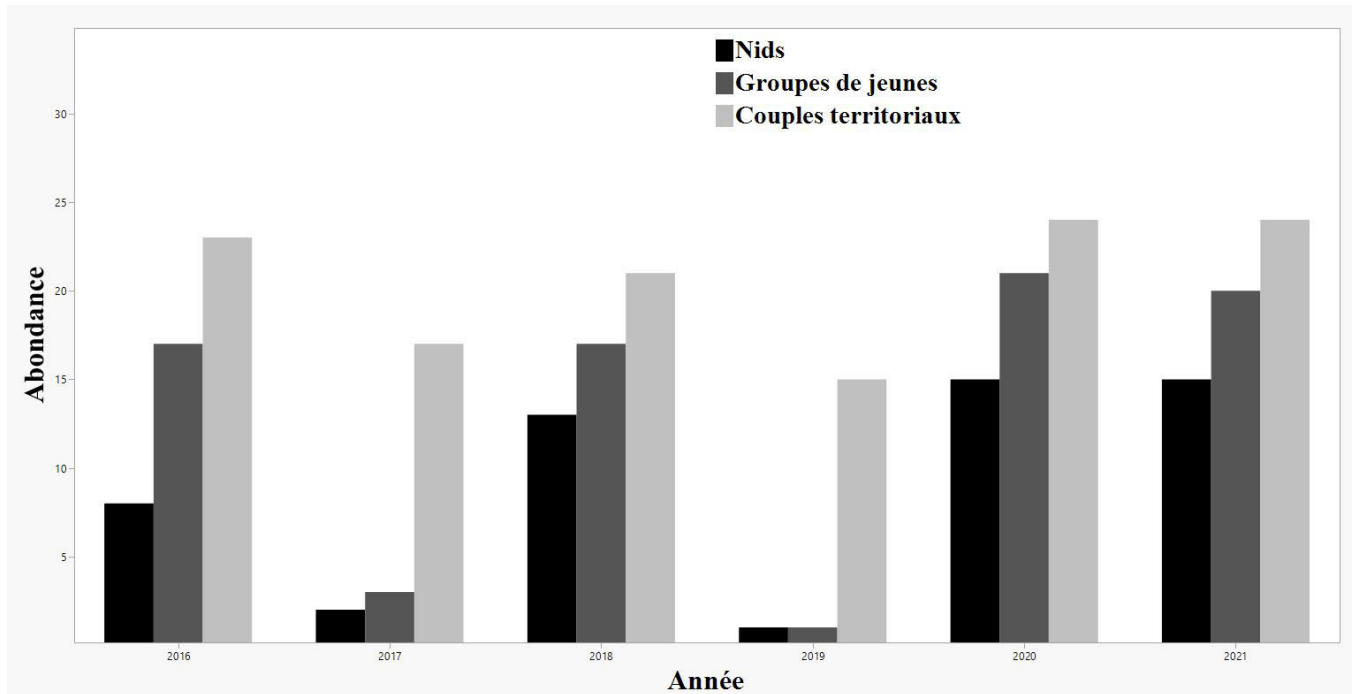


Figure 3. Abondance annuelle (nombre) de la chouette rayée au mont Saint-Bruno : couples territoriaux (probables et confirmés), nids découverts et groupes de jeunes repérés de 2016 à 2021.

Tableau 1. Distribution des territoires selon le degré de certitude de la présence d'un couple de chouette rayée (la désignation « nid + jeunes » décrit un territoire dans lequel un nid a été découvert ou au moins une jeune chouette a été observée).

Critère	Degré de certitude	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Nid + jeunes ^a	Confirmé	18	4	17	2	22	24
Vocalisations territoriales ^b	Confirmé	1	0	0	3	1	0
Couple seulement	Probable	4	12	4	10	1	0
1 oiseau territorial	Possible	1	7	3	10	0	1
Pas d'observation	–	1	2	0	0	1	0
Non examiné	–	0	0	1	0	0	0
Nombre de territoires		25	25	25	25	25	25

^a Certains couples ont été déterminés par 2 ou 3 approches (nid, jeunes et vocalisations).

^b Couples déterminés seulement par cette approche (nid non découvert, jeunes non observés).

Densité de population

En 2020 et en 2021, la densité de population de la chouette rayée atteignait 2,2 couples territoriaux/km² dans l'aire d'étude (tableau 2). Elle s'avérait plus élevée sans les grands milieux ouverts comme le terrain de golf, les aires de pique-nique et les zones de stationnement. Enfin, sur un espace couvrant la majeure partie du parc du Mont-Saint-Bruno et abritant 18 territoires, elle comprenait 3,0 couples territoriaux/km² en écartant les lacs et une aire de pique-nique (seul grand milieu ouvert terrestre). La densité dans ces 18 territoires centraux (avec les milieux ouverts) dépassait de presque 70 % celle des 7 territoires périphériques où les peuplements forestiers sont nettement plus jeunes (tableau 3). Dans l'aire d'étude et dans les 18 territoires centraux, les

couples disposaient en moyenne respectivement de 45,9 ha et de 33,7 ha, couverts essentiellement de forêts.

Distance entre nids voisins

La distance moyenne entre nids voisins atteignait annuellement entre 512 m et 650 m et variait peu entre les années (tableau 4). En 2017, un seul nid a été découvert, ce qui n'a pas permis de calculer de distance internids. Idem en 2019, mais parce que les 2 seuls nids trouvés n'étaient pas voisins, étant séparés par 2 territoires occupés. La distance la plus courte entre 2 nids (332 m) a été observée en 2020 et en 2021 (même 2 nids voisins). Elle n'a pratiquement pas fluctué au cours des années. L'écart maximal a changé quelque peu, atteignant sa valeur la plus élevée en 2020 et en 2021

Tableau 2. Densité de population des couples territoriaux de chouette rayée dans l'aire d'étude en 2020 et en 2021.

Zone considérée	Superficie (km ²)	Nombre de couples	Densité (nombre de couples/km ²)
Aire d'étude	11,1	24,0	2,2
Aire d'étude sans les grands milieux ouverts	9,4	24,0	2,6
18 territoires centraux sans les grands milieux ouverts	6,1	18,0	3,0

Tableau 3. Comparaison de la densité de population des couples territoriaux de chouette rayée observés en 2020 et en 2021 dans 2 secteurs de la zone d'étude selon l'âge des peuplements forestiers.

Zone considérée	Âge des peuplements forestiers	Superficie (km ²)	Nombre de couples	Densité (nombre de couples territoriaux/km ²)
18 territoires centraux de l'aire d'étude	surtout > 110 ans	6,8	18,0	2,7
7 territoires périphériques de l'aire d'étude (sans le terrain de golf)	surtout < 80 ans	3,7	6,0	1,6

Tableau 4. Statistiques descriptives de la distance (m) entre les nids voisins de chouette rayée par année. À noter qu'en 2017 et en 2019, le nombre de nids découverts était trop faible pour permettre le calcul de ces paramètres (voir résultats).

Paramètre	2016	2018	2020	2021
Moyenne	512	650	622	640
Écart type	124	205	220	224
Minimum	349	351	332	332
Maximum	697	1046	1174	1174
Effectif	5	11	18	16

(même 2 nids voisins). Ces derniers nids se situaient presque à l'opposé de leur frontière commune.

Individus non territoriaux

À 6 reprises, 3 chouettes rayées ont été aperçues dans un même territoire au cours d'une visite, et ce, dans 3 territoires différents, dont 2 voisins. Les 3 premières observations ont été réalisées au début de la période de reproduction (23 février 2020, 7 avril 2019, 4 mai 2019). Il s'agissait de 2 oiseaux perchés sur la même branche ou sur des arbres voisins tandis que le troisième se trouvait à une distance variant de 150 m à 320 m des premiers, mais à au moins 100 m à l'intérieur des territoires. Les 3 derniers épisodes se sont déroulés en janvier et en février 2021. Dans chaque cas, 2 chouettes étaient perchées à proximité l'une de l'autre (entre 22 m et 142 m) tandis que la troisième a été observée entre 219 m et 260 m de celles-ci. Au moins 100 m séparaient tous ces oiseaux de la frontière la plus près avec un voisin. L'un des troisièmes individus se trouvait même près du centre d'un territoire. Cette chouette chassait et a capturé une proie en plein jour (10 h 28). Pour arriver à ces derniers résultats, 4 territoires ont été visités à 9 occasions. Au cours des 6 autres visites, 1 ou 2 chouettes ont été observées.

Discussion

Abondance des territoires et des couples

Le nombre de couples connus de l'espèce a fluctué quelque peu au cours de l'étude pour augmenter et se stabiliser au cours des 2 dernières années. Cette fluctuation découle

principalement de la faible reproduction en 2017 et en 2019 et non pas d'un réel changement d'abondance puisque la détermination des couples repose en grande partie sur la quantité de nids et de groupes de jeunes découverts. Des années de reproduction faible ou nulle ont déjà été observées au Michigan, en Nouvelle-Écosse ou ailleurs. Deux hypothèses sont suggérées pour rendre compte du phénomène : une grosse tempête de pluie verglaçante à la fin de l'hiver et la rareté des proies (Elderkin, 1987 dans Mazur et James, 2000; Postupalsky et collab., 1997).

Les vocalisations territoriales n'ont pas permis de suppléer à la faible reproduction pour distinguer les couples. En effet, des échanges de vocalisation ont été notés moins de 3 fois en 6 ans entre certains couples voisins. Ce phénomène s'expliquerait par le fait que les limites des territoires sont très stables (Nicholls et Fuller, 1987) et que les couples n'auraient pas à les défendre constamment. De plus, les chouettes rayées pourraient reconnaître leurs voisins par la voix, comme cela semble être le cas chez la chouette hulotte (*Strix aluco*) (Choi et collab., 2019), une espèce apparentée. Un individu n'aurait donc pas à répéter souvent son message territorial à moins de l'arrivée d'un nouveau voisin. Au Danemark, Sunde et Bølstad (2004) ont observé que, chez la chouette hulotte, le nombre de disputes territoriales (vocalisations et parades aériennes) s'avérait fortement corrélé avec le pourcentage de chevauchement des territoires. Elles étaient rarement observées lorsque ce dernier était très faible (< 5%) ou nul. Cela pourrait être la même situation pour la chouette rayée.

Il est improbable que le nombre de couples territoriaux ait été surestimé, compte tenu des méthodes employées. D'abord, à moins de cas de polygynie (voir plus loin), les nids découverts représentent certainement chacun un couple. De plus, les jeunes chouettes quittent le nid en moyenne à l'âge de 4,5 semaines et ne peuvent voler avant l'âge de 10 semaines (Mazur et James, 2000), ce qui fait qu'elles se déplacent peu pendant les 6 premières semaines de leur vie hors du nid.

Densité de population

La densité de population des couples territoriaux de chouette rayée se chiffrait à 2,2/km² pour l'aire d'étude et jusqu'à 3,0/km² dans sa partie centrale, en excluant certains territoires périphériques et les grands milieux ouverts. La première valeur est certainement la plus objective, car elle repose sur des limites déterminées a priori et ne fait intervenir qu'un minimum de jugement et de connaissances des habitats que l'espèce exploite. En effet, les grands milieux terrestres ouverts ont été retranchés des 2 autres estimations de densité, mais il n'est pas impossible que l'espèce utilise parfois ces milieux. D'ailleurs, un individu au repos a déjà été observé le jour dans le plus grand verger abandonné. En Ontario, en hiver, une chouette rayée chassait dans un champ, à une distance de 30 m à 159 m du couvert arborescent le plus près (James, 2007).

Enfin, les plans d'eau pourraient être importants pour l'oiseau. L'espèce a été aperçue en train de chasser ou de pêcher sur leurs rives à plusieurs occasions (F. M., P. W., données non publiées). De plus, il est probable que la partie des territoires bordés par un lac n'ait pas besoin d'être défendue ou qu'elle soit plus facile à défendre, du moins pour ceux séparés par des plans d'eau assez larges. Livezey (2007) a relevé que la chouette rayée préfère les sites situés près de l'eau dans 7 des 15 études qui ont considéré cette variable.

La densité de population des couples territoriaux de la chouette rayée obtenue dans l'aire d'étude dépasse de loin les valeurs présentées dans la littérature scientifique. Outre les disparités entre les méthodes, le type d'habitat et l'âge avancé de la forêt expliqueraient une partie des écarts observés entre les valeurs de densité de la présente étude et celles de la littérature scientifique. Au Minnesota, des domaines vitaux comprenaient des champs et des marais (Nicholls et Fuller, 1987). En Caroline du Sud, la superficie de 20 domaines vitaux variait entre 0,38 km² et 3,38 km² et augmentait avec le pourcentage de milieux sans arbres dont des champs et des emprises de lignes de transport d'électricité (Clément et collab., 2021).

Au mont Saint-Bruno, la densité la plus élevée est associée au secteur qui abrite la plus grande proportion de peuplements forestiers de plus de 110 ans. En Oklahoma, Winton et Leslie (2004) ont travaillé dans des forêts d'environ 60 ans. Au Michigan, l'âge des peuplements n'est pas présenté, mais, dans les chênaies, les arbres mesuraient entre 7 m et 19 m de hauteur (Nicholls et Warner, 1972) alors qu'au mont Saint-Bruno, les arbres entre 25 m et 30 m de hauteur ou plus abondent. Dans une région urbanisée de Caroline du Sud, la hauteur moyenne des arbres était la variable qui

prédisait le mieux l'occupation de sites par la chouette rayée, indépendamment de la couverture forestière (Clément et collab., 2019). En Pennsylvanie, Haney (1997) a observé que l'espèce préférait les forêts anciennes de plus de 200 ans. En Pologne, une augmentation de la densité de la chouette hulotte sur une période de 18 ans découlait en partie de l'accroissement de l'âge de la forêt (Wiącek et collab., 2010). Toutes ces données laissent croire que l'abondance devrait augmenter lentement dans l'aire d'étude au cours des prochaines décennies avec le vieillissement de la forêt, notamment en périphérie.

L'importance de l'âge de la forêt pour l'espèce pourrait en fait refléter celle de plusieurs facteurs, dont l'abondance et la diversité des proies. Le régime alimentaire de la chouette rayée est très éclectique (Livezey, 2007). Elle se nourrit d'une variété d'oiseaux, de mammifères, de couleuvres, d'amphibiens, de poissons, d'insectes, d'autres invertébrés et même de charognes (Kapfer et collab., 2011; Livezey, 2007; Livezey et collab., 2008). Au mont Saint-Bruno, elle s'attaque, par exemple, au tamia rayé (*Tamias striatus*), à la souris à pattes blanches (*Peromyscus leucopus*), à la salamandre maculée (*Ambystoma maculatum*), au grand mille-pattes d'Amérique (*Narceus americanus*) et même au grand pic (*Dryocopus pileatus*) (F. M., données non publiées; P. W., Sépaq, données non publiées). Il est possible, voire probable, que certaines de ces espèces et d'autres soient plus abondantes dans les vieilles forêts que dans les jeunes.

La rareté ou l'absence de certains prédateurs et compétiteurs de la chouette rayée pourrait favoriser une densité plus élevée de cette dernière qu'en leur présence. Le grand-duc d'Amérique (*Bubo virginianus*) et l'autour des palombes (*Accipiter gentilis*) s'attaquent tant aux jeunes qu'aux adultes de la chouette rayée tandis que la buse à queue rousse (*Buteo jamaicensis*) est un prédateur potentiel. D'aucuns soupçonnent aussi le grand-duc de compétitionner avec la chouette pour les ressources alimentaires (Bent, 1938; Bosakowski et Smith, 1992; Mazur et James, 2000). Depuis environ 40 ans, ces oiseaux se sont raréfiés dans l'aire d'étude. Alors qu'à la fin des années 1970, celle-ci abritait 3 couples de grand-duc d'Amérique, 1 d'autour des palombes et 2 (peut-être 3) de buse à queue rousse, nombres appuyés par des nids (F. M., données non publiées), il ne restait qu'un territoire de grand-duc et 1 de buse pendant la période d'étude. Il est possible que la diminution de l'abondance de ces espèces ait profité à la chouette rayée, particulièrement en réduisant potentiellement la compétition par exploitation. Il n'y a aucune valeur comparative dans la littérature scientifique.

Depuis plusieurs années, les inventaires aériens révèlent une surpopulation du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) sur le mont Saint-Bruno. En 2021, sa densité y était évaluée à près de 19 têtes/km² (Nathalie Rivard, Sépaq, communication personnelle), entraînant ainsi un broutage excessif du sous-bois. Il est maintenant très dégagé, la vision pouvant atteindre par endroits plus de 100 m, même en été. Cette modification de l'habitat a possiblement été bénéfique à la chouette rayée en favorisant son activité de chasse; l'espèce peut plus facilement repérer des proies potentielles et son vol

n'est pas handicapé par la végétation ou susceptible de causer du bruit en la heurtant avec ses ailes. Plusieurs auteurs ont mentionné l'importance d'un sous-bois clair pour les activités de chasse de l'oiseau (Haney, 1997; Mazur et collab., 1998; Nicholls et Warner, 1972), mais la démonstration reste à faire.

Enfin, un dernier facteur pourrait avoir une incidence sur la densité, soit l'utilisation par la chouette rayée du tissu urbain environnant. En Caroline du Nord, une population de cet oiseau habite dans de vieux quartiers de la ville de Charlotte, hors des milieux naturels (Bierregaard, 2018). Des territoires de l'aire d'étude pourraient donc se prolonger dans les quartiers urbains les plus boisés, ce qui entraînerait une diminution de la densité estimée. Même si des zones résidentielles longent 13 territoires, aucune observation n'y a été rapportée. Néanmoins, on ne peut exclure une visite occasionnelle d'individus territoriaux sur les terrains adjacents, spécialement en hiver lorsque les proies sont plus rares. La télémétrie permettrait de vérifier et de quantifier ce phénomène.

Distance entre nids voisins

Il n'existe aucune donnée dans la littérature scientifique pour comparer la distance entre des nids voisins de chouette rayée. Toutefois, dans le nord du New Jersey, Bosakowski et collab. (1987) ont calculé que les couples étaient distants en moyenne de 1,96 km.

Individus non territoriaux

Au moins 3 explications peuvent rendre compte de l'observation d'une troisième chouette dans un territoire: l'intrusion d'un voisin, un cas de polygynie et la visite d'un oiseau non territorial. La première est peu plausible, car les frontières ont été déterminées principalement en suivant un individu après que celui-ci ait hululé ou par les vocalisations territoriales entre mâles ou couples voisins. De plus, une étude télémétrique effectuée au Minnesota révèle que les domaines vitaux voisins ne se chevauchent pas ou très peu (Nicholls et Fuller, 1987). Enfin, même si certaines frontières souffrent d'imprécision, toutes ces observations ont été réalisées à plus de 100 m de celles qui sont les plus rapprochées d'un voisin.

La polygynie n'est pas connue ni même suspectée chez la chouette rayée (Mazur et James, 2000). Cette forme d'accouplement a été détectée chez 7 espèces européennes de Strigiformes (Korpimäki, 1988) et, en Amérique du Nord, chez la petite nyctale (*Aegolius acadicus*), bien que la multipaternité n'ait pas été corroborée par des analyses génétiques (Marks et collab., 1989). Elle ne semble courante que chez la nyctale de Tengmalm (*Aegolius funereus*) (Carlsson et collab., 1987; Korpimäki, 1988), une espèce répandue tant en Amérique du Nord qu'en Europe. Le dernier auteur a analysé les caractéristiques et les facteurs qui favorisent la polygynie chez les oiseaux de proie. Aucun de ceux-ci ne concerne la chouette rayée comme le nomadisme et une faible territorialité (Mazur et James, 2000). Le nomadisme est le déplacement du lieu de reproduction entre 2 années consécutives, souvent sur une grande distance (Korpimäki, 1988). En outre, les

espèces polygynes sont en règle générale des spécialistes des campagnols, ce qui n'est pas le cas de la chouette rayée (Livezey, 2007).

Enfin, les individus non territoriaux sont très répandus chez les oiseaux de proie (Newton, 1979; Penteriani et Delgado, 2009; Tapia et Zuberogoitia, 2018). Selon Penteriani et Delgado (2009), ils correspondent à des individus en dispersion qui peuvent rejoindre la population reproductrice lorsqu'un territoire de nidification se libère. Il est donc hautement probable qu'une grande partie des observations de 3 chouettes rayées dans un territoire au cours d'une même visite comprenaient le couple local et un individu non territorial de passage. Le cas échéant, ce surplus suggère que tous les territoires étaient occupés par des couples, au moins durant les 3 dernières années de l'étude. En corollaire, cela impliquerait une légère sous-estimation de la densité des couples territoriaux de l'aire d'étude et une grande stabilité de leur population.

Prospectives et conservation

Il est délicat d'inférer les résultats de la zone d'étude à d'autres lieux au Québec ou ailleurs étant donné ses particularités, mais il serait étonnant que ce soit un cas unique. Pour le vérifier, l'étude devrait être étendue à une ou à des forêts suburbaines distinctes et au moins à un vaste site forestier situé loin des milieux agricoles et urbains. La densité élevée de la chouette rayée au mont Saint-Bruno et sa population plutôt stable témoignent de l'importance de la conservation de massifs résiduels de vieilles forêts au Québec méridional. C'est le cas pour cette espèce et de toutes celles qui dépendent des vieilles forêts.

Remerciements

Nous remercions les personnes suivantes qui nous ont autorisés ou facilité l'accès aux terrains composant l'aire d'étude: Nathalie Rivard et Sophie Tessier de la Sépaq pour le parc du Mont-Saint-Bruno, Trevor Anderson (surveillant général) et Christian Pilon (secrétaire général) du Mount Bruno Country Club pour la forêt ceinturant le terrain de golf, Robert Werbiski et Frank Sirieix du ministère de la Défense nationale pour l'accès aux terrains de ce ministère et leur appui au projet et finalement, Véronique Benoit-Chabot et Mélissa Loiseau de Nature-Action Québec pour l'accès à 2 petites aires protégées. Les personnes suivantes nous ont généreusement communiqué une ou plusieurs observations de chouette rayée: François Taillefer, Valérie Picard, Adrien Gervais, Marie-Andray Chouinard, Maxime Muylaert, feu Michel Tanguay, Sophie Beauregard, Denis Henri, Charles Bélanger, Céline Pèlerin, Isabelle Gélinas, gardes-parc ou employés de la Sépaq, Michael Hentges, Martin Kuhnigk et plusieurs autres. Un merci spécial à Claire Lépine et à Marc-André Villard pour leurs commentaires sur le manuscrit et à Jessica Dubé, de la Sépaq, pour la réalisation de la carte. Nous remercions aussi Claude Samson, Junior A. Tremblay et les 2 réviseurs anonymes qui ont évalué le manuscrit, de même que l'équipe du *Naturaliste canadien* pour le travail d'édition de l'article. ◀

Références

- BENT, A.C., 1938. Northern Barred Owl. Dans : UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE (édit.). Life histories of North American birds of prey, Part 2. Smithsonian Institution, United States National Museum Bulletin 170, Washington, p. 182-197.
- BIERREGAARD, R.O., 2018. Barred Owls: A nocturnal generalist thrives in wooded, suburban habitats. Dans : BOAL, C.W. et C.R. DYKSTRA (édit.). Urban raptors: Ecology and conservation of birds of prey in cities. Island Press, Washington, D.C., p. 138-151. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-841-1_10.
- BOSAKOWSKI, T. et D.G. SMITH, 1992. Comparative diets of sympatric nesting raptors in the eastern deciduous forest biome. Canadian Journal of Zoology, 70 : 984-992. <https://doi.org/10.1139/z92-140>.
- BOSAKOWSKI, T. et D.G. SMITH, 1997. Distribution and species richness of a forest raptor community in relation to urbanization. Journal of Raptor Research, 31 : 26-33.
- BOSAKOWSKI, T., R. SPEISER et J. BENZINGER, 1987. Distribution, density, and habitat relationships of the Barred Owl in northern New Jersey. Dans : NERO, R.W., R.J. CLARK, R.J. KNAPTON et R.H. HAMRE (édit.). Biology and conservation of northern forest owls. Proceedings of a symposium, 3-7 February 1987, Winnipeg, Manitoba, General Technical Report RM-142, United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, p. 135-143.
- CARLSSON, B., G.B. HÖRNELDT et O. LÖFGREN, 1987. Bigyny in Tengmalm's owl *Aegolius funereus*: Effect of mating strategy on breeding success. Ornis Scandinavica, 18 : 237-243.
- CHOI, W., J.-H. LEE et H.-C. SUNG, 2019. A case study of male tawny owl (*Strix aluco*) vocalizations in South Korea: Call feature, individuality, and the potential use for census. Animal Cells and Systems, 23 : 90-96. <https://doi.org/10.1080/19768354.2019.1592022>.
- CLÉMENT, M.A., K. BARRETT et R.F. BALDWIN, 2019. Key habitat features facilitate the presence of Barred Owls in developed landscapes. Avian Conservation & Ecology, 14 : 12. <https://doi.org/10.5751/ACE-01427-140212>.
- CLÉMENT, M.A., K. BARRETT, R.F. BALDWIN, C.M. BODINOF JACHOWSKI, A. CARTER et D. BRINKER, 2021. An unexpected backyard hunter: Breeding Barred Owls exhibit plasticity in habitat selection along a development gradient. Urban Ecosystems, 24 : 175-186. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01031-0>.
- DEVEREUX, J.G. et J.A. MOSHER, 1982. Nesting habits of the Barred Owl in western Maryland. Maryland Birdlife, 38 : 124-126.
- DYKSTRA, C.R., M.M. SIMON, F.B. DANIEL et J.L. HAYS, 2012. Habitats of suburban barred owls (*Strix varia*) and red-shouldered hawks (*Buteo lineatus*) in southwestern Ohio. Journal of Raptor Research, 46 : 190-200.
- ELODY, B.I. et N.F. SLOAN, 1985. Movements and habitat use of Barred Owls in the Huron Mountains of Marquette County, Michigan, as determined by radiotelemetry. Jack-Pine Warbler, 63 : 3-8.
- FRITH, S.D., K.M. MAZUR et P.C. JAMES, 1997. A method for locating Barred Owl (*Strix varia*) nests in the southern boreal forest of Saskatchewan. Dans : DUNCAN, J.R., D.H. JOHNSON et T.H. NICHOLLS (édit.). Biology and conservation of owls of the Northern Hemisphere. Proceedings 2nd International Symposium, General Technical Report NC-190, United States Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, p. 545-547.
- GRATTON, L., 1987. Inventaire des strates arborescentes du mont Saint-Bruno en vue de la révision de la carte de végétation. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Parc du Mont Saint-Bruno, 29 p.
- HANEY, J.C., 1997. Spatial incidence of Barred Owl (*Strix varia*) reproduction in old-growth forest of the Appalachian Plateau. Journal of Raptor Research, 31 : 241-252.
- HARROLD, E.S., 2003. Barred Owl (*Strix varia*) nesting ecology in the southern Piedmont of North Carolina. Master's thesis, University of North Carolina, Charlotte, 170 p.
- JAMES, R.D., 2007. Barred Owl snow-plunging in an open field in daylight. Ontario Birds, 25 : 12-15.
- KAPFER, J.M., D.E. GAMMON et J.D. GROVES, 2011. Carrion-feeding by Barred Owls (*Strix varia*). The Wilson Journal of Ornithology, 123 : 646-649.
- KOCHERT, M.N., 1986. Raptors. Dans : COOPERRIDER, A.Y., R.J. BOYD et H.R. STUART (édit.). Inventory and monitoring of wildlife habitat. United States Department of Interior, Bureau of Land management, Denver, p. 313-349.
- KORPIMÄKI, E., 1988. Factors promoting polygyny in European birds of prey – A hypothesis. Oecologia, 77 : 278-285.
- LIVEZEY, K.B., 2007. Barred Owl habitat and prey: A review and synthesis of the literature. The Journal of Raptor Research, 41 : 177-201.
- LIVEZEY, K.B., M.F. ELDERKIN, P.A. COTT, J. HOBBS et J. P. HUDSON, 2008. Barred owls eating worms and slugs: The advantage in not being picky eaters. Northwestern Naturalist, 89 : 185-190.
- MARKS, J.S., J.H. DOREMUS et R.J. CANNINGS, 1989. Polygyny in the Northern Saw-whet Owl. The Auk, 106 : 732-734.
- MAZUR, K.M. et P.C. JAMES, 2000. Barred Owl (*Strix varia*). Dans : POOLE, A. (édit.). The birds of North America. Cornell Labotary of Ornithology, Ithaca. <https://doi.org/10.2173/bna.508>.
- MAZUR, K.M., S.D. FRITH et P.C. JAMES, 1998. Barred Owl home range and habitat selection in the boreal forest of central Saskatchewan. The Auk, 115 : 746-754.
- NEWTON, I., 1979. Population ecology of raptors. Academic Press, London, 399 p.
- NICHOLLS, T.H. et M.R. FULLER, 1987. Territorial aspects of Barred Owl home range and behavior in Minnesota. Dans : NERO, R.W., R.J. CLARK, R.J. KNAPTON et R.H. HAMRE (édit.). Biology and conservation of northern forest owls. Proceedings of a symposium, 3-7 February 1987, Winnipeg, Manitoba, General Technical Report RM-142, United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, p. 121-128.
- NICHOLLS, T.H. et D.W. WARNER, 1972. Barred Owl habitat use as determined by radiotelemetry. Journal of Wildlife Management, 36 : 213-224.
- ODOM, K.J. et D.J. MENNILL, 2010. A quantitative description of the vocalizations and vocal activity of the Barred Owl. The Condor, 112 : 549-560.
- PENTERIANI, V. et M. DEL MAR DELGADO, 2009. Thoughts on natal dispersal. Journal of Raptor Research, 43 : 90-98.
- POSTUPALSKY, S., J.M. PAPP et L. SCHELLER, 1997. Nest sites and reproductive success of the Barred Owls (*Strix varia*) in Michigan. Dans : DUNCAN, J.R., D.H. JOHNSON et T.H. NICHOLLS (édit.). Biology and conservation of owls of the Northern Hemisphere. Proceedings 2nd International Symposium, General Technical Report NC-190, United States Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, p. 325-337.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec, Québec, 213 p.
- SMITH, A.C., M.-A.R. HUDSON, V.I. APONTE et C.M. FRANCIS, 2020. Site Web du Relevé des oiseaux nicheurs de l'Amérique du Nord – Tendances démographiques au Canada, version des données de 2019. Environnement et Changement climatique Canada, Gatineau (Québec) K1A 0H3. Disponible en ligne à : <https://faune-especes.canada.ca/resultats-releve-oiseaux-nicheurs/P004/A001/?lang=f&m=s&r=BADO&p=L>. [Visité le 2022-07-06].
- SUNDE, P. et M.S. BØLSTAD, 2004. A telemetry study of the social organization of a tawny owl (*Strix aluco*) population. Journal of Zoology (London), 263 : 65-76. <https://doi.org/10.1017/S0952836904004881>.
- TAPIA, L. et I. ZUBEROGOITIA, 2018. Breeding and nestling biology in raptors. Dans : SARASOLA, J.H., J.M. GRANDE et J.J. NEGRO (édit.). Birds of prey: Biology and conservation in the XXI century. Springer International Publishing, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73745-4_3.
- WIĄCEK, J., M. POLAK et G. GRZYWACZEWSKI, 2010. The role of forest age, habitat quality, food resources and weather conditions for tawny owl *Strix aluco* populations. Polish Journal of Environmental Study, 19 : 1039-1043.
- WINTON, B.R. et D.M. LESLIE, Jr., 2004. Density and habitat associations of Barred Owls at the edge of their range in Oklahoma. Southeastern Naturalist, 3 : 475-482.

Annexe. Nombre d'heures d'observation sur le terrain consacrées à la détermination de la densité de population de la chouette rayée de 2016 à 2021

Année	Nombre d'heures d'observation
2016	201
2017	280
2018	430
2019	372
2020	372
2021	280
Total	1935

Repenser la conservation de l'environnement

Dire que les nouvelles qui touchent l'environnement sont généralement mauvaises est un euphémisme. En fait, elles sont le plus souvent désastreuses, voire apocalyptiques. Les écosystèmes disparaissent, les espèces sont menacées, la planète se réchauffe, les événements climatiques extrêmes se multiplient et l'humanité court à sa perte. La plupart d'entre nous acceptent ce diagnostic glauque sans le remettre en question, convaincus qu'il repose sur des bases scientifiques fiables. Ce n'est pas le cas d'André Desrochers.

Dans *Repenser la conservation de l'environnement*, paru aux Presses de l'Université Laval, le professeur d'écologie animale de l'Université Laval se livre à un réquisitoire contre cette représentation fataliste de l'état de la planète et le détournement de la science au profit d'un *establishment* environnemental dont le modèle d'affaires repose sur la catastrophe appréhendée. Il revisite l'histoire de la conservation et de ses fondements, il passe au crible des idées reçues et il en fait l'analyse à la lumière des connaissances scientifiques actuelles.

Ceux qui ont lu les billets du blogue d'André Desrochers ou qui ont suivi ses interventions dans les médias connaissent sa propension à bousculer les idées. Son ouvrage adopte le même ton. On peut s'étonner qu'un scientifique remette en question de quasi-dogmes environnementaux, notamment les conclusions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Mais, à ses yeux, la conservation de l'environnement est une idéologie politique et, peu importe la justesse des principes qu'elle défend, elle ne doit pas être soustraite à la pensée critique.

Repenser la conservation de l'environnement ne convaincra pas tous les lecteurs, mais l'ouvrage a le mérite de forcer la réflexion.



DESROCHERS, André, 2022. *Repenser la conservation de l'environnement*. Presses de l'Université Laval, Québec, 268 p. Disponible en format papier ou en PDF. 30,00 \$.

Source : Jean Hamann

Pierre qu'on grimpe n'amasse pas mousse : conséquences de l'escalade sur la biodiversité associée aux parois rocheuses

André-Philippe Drapeau Picard

Résumé

L'escalade est un sport qui gagne en popularité depuis quelques décennies en Occident. Sa pratique à l'extérieur perturbe la biodiversité associée aux parois rocheuses et aux autres habitats à proximité. Ces habitats hébergent des assemblages d'espèces uniques, mais méconnus en raison de leur accès souvent difficile. Ainsi, la pratique de l'escalade pourrait menacer des populations d'espèces d'intérêt pour la conservation. Cette revue de littérature a pour objectif : 1) de dresser un portrait de la biodiversité associée aux parois, aux talus d'éboulis et aux blocs, en prenant l'Amérique du Nord comme étude de cas ; 2) de synthétiser les connaissances sur les conséquences écologiques de l'escalade ; 3) de documenter les mesures d'atténuation actuelles ; 4) d'identifier les lacunes dans les connaissances actuelles ; 5) de proposer des pistes pour les recherches et les efforts de conservation futurs.

MOTS-CLÉS : conséquence écologique, diversité, écologie de falaise, gestion de la faune et de la flore, perturbation anthropique

Abstract

In recent decades, climbing has gained in popularity in western countries. Outdoor rock climbing affects the biodiversity associated with cliff faces and adjacent habitats. As these habitats host unique species assemblages that are largely undocumented, primarily because they are difficult to access, climbing could threaten populations of species of conservation interest. This literature review: 1) provides a portrait of the biodiversity associated with cliffs, screes and boulders, using North America as a case study; 2) summarizes the current knowledge about the ecological impacts of rock climbing; 3) documents current mitigation measures; 4) identifies knowledge gaps; 5) suggests avenues for research and conservation efforts.

KEYWORDS: cliff ecology, diversity, ecological impact, human disturbance, wildlife management

Introduction

L'escalade est un sport qui gagne en popularité depuis quelques décennies et son ajout comme discipline olympique aux Jeux de Tokyo 2020 devrait contribuer à maintenir cette tendance (Outdoor Foundation, 2021). L'escalade se pratique sur des parois subverticales rocheuses ou de glace, sur des falaises et sur de grosses pierres appelées « blocs ». Ces milieux, de même que les habitats qui leur sont fréquemment associés, comme les replats, les corniches, les surplombs, les anfractuosités et les talus d'éboulis, hébergent une biodiversité qui leur est propre (figure 1).

Difficiles d'accès, les parois rocheuses sont des habitats qui sont étudiés depuis peu et qui demeurent méconnus. Au moment où les biologistes commençaient à s'y intéresser, l'escalade se démocratisait. Le matériel spécialisé développé pour la pratique de ce sport a facilité l'étude des parois (Bogges, 2013). Ainsi, alors qu'on prenait la mesure de la vulnérabilité de la biodiversité associée aux parois, on a réalisé que le nombre croissant de grimpeurs représentait un enjeu pour la conservation des espèces qui les colonisent. À la suite de cette prise de conscience, les premières études ont été réalisées dans le but d'évaluer les répercussions écologiques de l'escalade (p. ex. : Nuzzo, 1995 ; 1996 ; Camp et Knight, 1998).

Le nombre d'adeptes de l'escalade augmente depuis des décennies (Attarian et Keith, 2008 ; Outdoor Foundation, 2021). Chaque année, de nouveaux centres d'escalade intérieurs ouvrent leurs portes et de nouveaux sites extérieurs sont aménagés. Au Canada, l'escalade est une activité bien établie. La Colombie-Britannique est la province où le plus grand nombre de voies est répertorié, suivie par le Québec, l'Ontario et l'Alberta (Mountain Project, 2022). Sa pratique est encadrée par des organisations provinciales. Au Québec, l'accès à la plupart des sites d'escalade majeurs est réservé aux membres de la Fédération québécoise de la montagne et de l'escalade (FQME). De 2009 à 2020, le nombre de membres de la FQME est passé de 1 579 à 6 006, ce qui représente une augmentation de 280 % (figure 2).

Étant donné l'engouement que connaît l'escalade et la pression qu'elle exerce sur la biodiversité, il est primordial d'identifier les sources de perturbations potentielles et d'évaluer les conséquences. Cette revue de littérature se veut une synthèse non exhaustive des connaissances des conséquences

André-Philippe Drapeau Picard est biologiste et préposé aux renseignements entomologiques à l'Insectarium de Montréal.

Andre-Philippe.DrapeauPicard@montreal.ca

écologiques de l'escalade, avec un intérêt particulier pour l'Amérique du Nord. Spécifiquement, elle vise à : 1) brosser un portrait de la biodiversité associée aux parois, aux talus d'éboulis et aux blocs, en prenant l'Amérique du Nord comme étude de cas ; 2) synthétiser les connaissances sur les

conséquences écologiques de l'escalade ; 3) documenter les mesures d'atténuation actuelles ; 4) identifier les lacunes dans les connaissances actuelles ; 5) proposer des pistes pour les recherches et les efforts de conservation futurs.

Méthodologie

La recherche de références a été réalisée en deux temps. D'abord, la littérature sur la biodiversité associée aux habitats rocheux a été explorée dans le moteur de recherche Google Scholar à l'aide de la combinaison des mots-clés suivants : *cliff habitat, cliff ecology, biodiversity, talus, scree, fauna, flora, bryophyte, lichen*. Ensuite, la même démarche a été utilisée pour trouver des références sur les conséquences de l'escalade avec les mots-clés suivants : *rock climbing, climbing impact, cliff habitat, cliff ecology, biodiversity, ecological impact, environmental impact*. Les résultats obtenus et leurs références ont été consultés. Des sites Web d'organisations dédiées à l'escalade ont aussi été consultés. Enfin, des membres de ces organisations ont été contactés pour obtenir des informations spécifiques.

Portrait de la biodiversité associée aux habitats rocheux

En milieu naturel, l'escalade se pratique essentiellement sur des escarpements rocheux et des blocs (tableau 1). Il est fréquent qu'un talus d'éboulis se forme à la base des escarpements sous l'action de processus géomorphologiques divers. Les parois, les blocs et les talus d'éboulis constituent 3 types d'habitats rocheux associés à des conditions environnementales différentes de celles du milieu environnant, ce qui se reflète dans les communautés d'espèces qu'ils hébergent. Ils peuvent être associés à des populations d'espèces rares, voire vulnérables, et à des populations reliques d'espèces hors de leur aire de répartition principale.

Les parois sont les sections les plus abruptes des escarpements (figure 1). Ce sont des habitats typiquement ouverts, avec un substrat organique mince ou absent (Larson et collab., 2000). Elles sont caractérisées par des variations microclimatiques extrêmes. Leur température peut changer rapidement au cours de la journée en fonction de leur exposition au soleil. Les parois sont en général exposées aux intempéries. Certaines sont couvertes de glace en hiver.

Les blocs utilisés pour l'escalade mesurent généralement moins de 5 m de hauteur (Attarian et Keith, 2008). Certains se trouvent à proximité des escarpements et des falaises desquels ils se sont détachés, tandis que les blocs erratiques peuvent avoir été déplacés par des glaciers sur des centaines, voire des milliers de kilomètres (Prest et collab., 2000). Les blocs peuvent se trouver en milieu ouvert ou sous un couvert forestier.

Les talus d'éboulis sont formés à la base des escarpements par l'accumulation de débris rocheux qui s'en détachent sous l'action de différents processus, dont la gélifraction. Leur température interne stable se distingue de celle du milieu environnant (Harris et Pedersen, 1998). La contribution des talus d'éboulis à la biodiversité locale a été documentée sur différents continents (Jurekova et collab., 2021 ; Ledesma et collab., 2020 ; Millar et collab., 2015 ; Růžička et Klimeš, 2005).

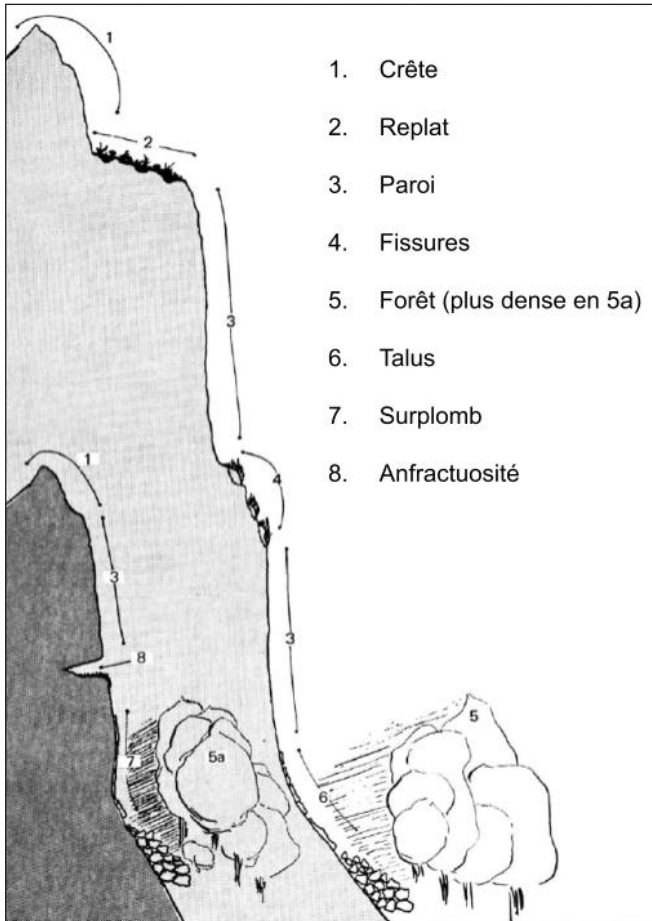


Figure 1. Schéma de deux escarpements rocheux et des habitats associés. Adapté de Schroeder (1977), avec la permission de l'éditeur.

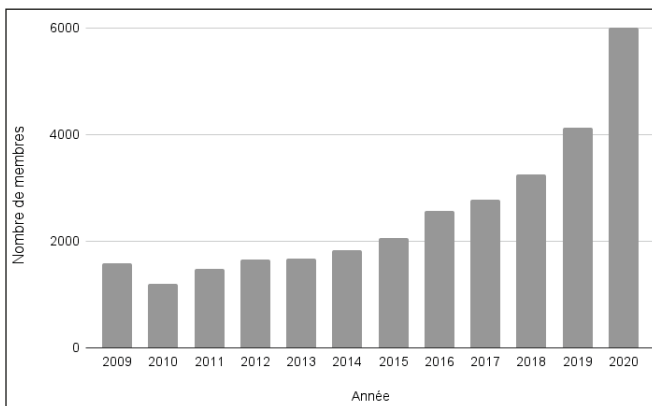


Figure 2. Nombre de membres de la Fédération québécoise de la montagne et de l'escalade. Données tirées des rapports annuels de l'organisme (FQME, 2021a).

Tableau 1. Définitions des termes associés à l'escalade. Tiré du site Web de la Fédération québécoise de la montagne et de l'escalade (FQME, 2021b).

Terme	Définition
Approche	Trajet à parcourir à pied entre le stationnement ou le campement et la paroi.
Escalade artificielle	Discipline où le grimpeur utilise différents équipements et artifices (pitons, coinces, cordes, étriers, etc.) comme points de contact intermédiaire avec le rocher pour s'élever et progresser vers le haut d'une paroi.
Escalade de bloc	Discipline où le grimpeur escalade de grosses roches (« blocs ») sur des voies de moins de 3 m de hauteur, sans corde.
Escalade en moulinette	Technique d'escalade dans laquelle le grimpeur est attaché à une extrémité de la corde qui coulisse dans un ancrage au sommet de la voie, l'autre extrémité étant contrôlée par un assureur généralement à la base de la paroi.
Escalade mixte	Discipline qui consiste à grimper des portions de glace et de rocher à l'aide d'équipement utilisé en escalade de glace (piolets, crampons, etc.) et à se protéger à l'aide des techniques spécifiques à l'escalade de glace ou de rocher, selon la surface gravie.
Escalade sportive	Discipline où le grimpeur installe des dégaines (2 mousquetons reliés par une sangle) qui lient sa corde à des ancrages permanents préalablement posés le long d'une voie.
Escalade traditionnelle	Discipline où le grimpeur installe des protections amovibles au cours de son ascension et s'élève au-dessus de ces dernières. Ces protections amovibles sont généralement retirées après le passage d'une cordée.
Magnésie	Poudre composée de carbonate de magnésium à laquelle est souvent ajouté du sulfate de magnésium, utilisée pour absorber la sueur des mains et faciliter leur adhérence sur les prises.
Rappel	Technique de descente contrôlée à l'aide d'une corde.
Relais	Système servant à assurer les grimpeurs dans leur ascension pour certaines techniques d'escalade et en rappel, généralement composé d'ancrages reliés par une sangle, une corde ou une chaîne.
Voie	Espace aménagé sur une paroi rocheuse pour la pratique de l'escalade.

Flore et lichens

Les habitats rocheux hébergent des assemblages d'espèces végétales uniques, déterminés par leur physicochimie et leur microclimat (Graham et Knight, 2004; Wiser, 1994). On y trouve des espèces rares ou endémiques, certaines disposant d'un statut de conservation (Morisset, 1971; 1979; Nuzzo, 1995; Wiser, 1994). Des populations reliques ou disjointes sont aussi associées à certaines parois (Hart et Shankman, 2005; Morisset, 1971; Walker, 1987). Des arbres réussissent parfois à prendre racine dans les anfractuosités, les crevasses, les surplombs et les replats.

Au Québec, 143 taxons de plantes vasculaires associés aux habitats rocheux sont d'intérêt pour la conservation, parmi lesquels 125 sont susceptibles d'être désignés vulnérables, 3 sont vulnérables et 15 sont menacés (CDPNQ, 2008). Certaines bryophytes rares y croissent également (Faubert, 2014). Des espèces spécialistes sont inféodées aux habitats calcaires à découvert, notamment les parois de roches carbonatées (Tardif et collab., 2005). La rareté des parois calcaires au Québec fait d'elles des points chauds de diversité de plantes rares dans cette province (Lavoie et Saint-Louis, 2008; Tardif et collab., 2005). L'arnica de Griscom (*Arnica griscomii* ssp. *griscomii*) est une plante herbacée menacée au Canada (COSEPAC, 2014). Cette espèce de la famille des astéracées est restreinte aux sols riches en calcium et se trouve sur les parois rocheuses et les talus d'éboulis. À la limite sud de son aire de répartition, dans le nord de la Virginie, le thuya occidental (*Thuja occidentalis*) est une espèce arborescente associée aux parois calcaires (Kincaid, 2016). En Alabama, des populations reliques de pruche du Canada (*Tsuga canadensis*) sont restreintes aux parois où règnent les conditions microclimatiques requises pour la régénération de l'espèce (Hart et Shankman, 2005).

Certains blocs erratiques ont été transportés sur de grandes distances par les glaciers (Prest et collab., 2000). Leur nature pétrographique et leur composition chimique peuvent donc différer de celles du milieu environnant. La physicochimie du substrat est un facteur déterminant pour plusieurs espèces, notamment des bryophytes et des lichens (Spitale et Nascimbene, 2012). Ainsi, certains blocs hébergent des assemblages d'espèces uniques et contribuent à la biodiversité locale. Par exemple, au parc du Bic, au Québec, le bryum nordique (*Bryum knowltonii*) et la houppie maritime (*Ulotia phyllantha*) sont des bryophytes rares qu'on trouve sur certains blocs (Faubert, 2014). De plus, par leur hauteur, ils permettent aux végétaux qui les colonisent d'éviter le broutage par les grands herbivores comme le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) (Rooney, 1997).

La diversité végétale associée aux parois rocheuses et aux talus d'éboulis demeure méconnue. Ces habitats représentent donc un potentiel de découverte élevé, comme en témoignent les résultats d'inventaires récents. Au parc du Bic, Anderson et Lendemer (2016) ont décrit une nouvelle espèce de lichen, *Aspicilia bicensis*, découverte sur la paroi d'une falaise adjacente à l'estuaire du Saint-Laurent. Brinker et Knudsen (2019) ont quant à eux décrit la première mention nord-américaine du lichen *Acarospora bullata* sur une paroi granitique (Mazinaw Cliff) des escarpements de la faille du Niagara, dans un parc au sud-est de l'Ontario. Ces découvertes récentes ont été faites dans des aires protégées où la conservation et la recherche sont favorisées.

Faune

Malgré l'obstacle que représentent les parois rocheuses verticales des falaises, des escarpements et des blocs pour plusieurs espèces animales, une faune diversifiée ne les utilise pas moins. Les vertébrés volants et les invertébrés ont

manifestement un accès privilégié à ces habitats. Les espèces de petite taille peuvent s'introduire dans les anfractuosités des parois et des talus. Selon les espèces, ces habitats représentent des sites d'alimentation, de reproduction, de repos et d'hibernation. Ils servent aussi de refuges pour échapper à un potentiel prédateur (Zani et collab., 2009). La présence de grimpeurs a un effet direct sur les espèces animales dont l'habitat inclut des sites d'escalade.

Mammifères

Les habitats rocheux sont fréquentés par une diversité de mammifères, en particulier les espèces qui sont des proies potentielles. Les chauves-souris, seuls mammifères volants, y ont un accès privilégié (Wilson, 2019). Des rongeurs et de grands mammifères sont également adaptés à ces habitats.

Plusieurs espèces de chauves-souris utilisent les parois rocheuses pour se reposer, hiberner et se reproduire (Loeb et Jodice, 2018; Wieser et collab., 2020). Dans l'ouest de l'Amérique du Nord, les parois font partie de l'habitat essentiel de la chauve-souris blonde (*Antrozous pallidus*), une espèce considérée menacée au Canada (ECCC, 2017a). De petits mammifères terrestres, en particulier des rongeurs, se déplacent facilement dans les habitats rocheux et profitent de leur hétérogénéité pour se nourrir, se reproduire et se protéger des intempéries et des prédateurs. Le campagnol des rochers (*Microtus chrotorrhinus*) est un rongeur présent dans le nord-est de l'Amérique du Nord. Il est associé aux talus d'éboulis, dans lesquels il se nourrit de mousses et de plantes herbacées (Naughton, 2016). Cette espèce est susceptible d'être désignée vulnérable au Québec (MFFP, 2021).

Les parois rocheuses sont fréquentées par de grands mammifères herbivores et carnivores. Les herbivores utilisent ces habitats pour se nourrir, échapper aux prédateurs ou encore se mettre à l'abri des intempéries et de la lumière du soleil. Certaines espèces ne s'éloignent guère de ces habitats. Des ongulés spécialistes des habitats rocheux possèdent des adaptations physiologiques qui leur permettent de grimper et de descendre rapidement les parois et les talus. Le mouflon canadien (*Ovis canadensis*) et la chèvre de montagne (*Oreamnos americanus*) y fuient à l'approche de prédateurs (Bleich, 1999; Côté et collab., 1997). Le cerf mulet (*Odocoileus hemionus*) et l'antilope d'Amérique (*Antilocapra americana*) évitent le soleil et la chaleur à l'abri de surplombs rocheux (Ward et Anderson, 1988). Finalement, certains prédateurs généralistes comme le cougar (*Puma concolor*), le coyote (*Canis latrans*) et les renards (*Vulpes* spp.) s'aventurent parfois dans ou à proximité de ces habitats à la recherche de proies, mais n'y sont pas intimement associés (Festa-Bianchet et collab., 2006; Wilson, 2019).

Oiseaux

Les parois rocheuses hébergent des communautés d'oiseaux particulièrement diversifiées (Matheson et Larson, 1998). Plusieurs espèces se perchent et nichent sur les parois des falaises pour être à l'abri des prédateurs et des intempéries et pour faciliter l'envol (Lambertucci et Ruggiero, 2013; Newton, 1979; Pennycuik et Scholey, 1984). Au sein de

l'avifaune associée aux habitats rocheux, les rapaces et les oiseaux marins ont été particulièrement étudiés (Larson et collab., 2000).

Au Québec, une trentaine d'espèces d'oiseaux y nichent (Bussière, 2010). Parmi elles se trouvent le faucon pèlerin (*Falco peregrinus*), inscrit au Registre canadien des espèces en péril (ECCC, 2017b), et l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*), protégé en vertu de la *Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec* (EROP, 2020). Des oiseaux marins comme des goélands et des cormorans nichent sur les falaises (Bussière, 2010).

Reptiles

Les habitats rocheux sont fréquentés par des reptiles comme des serpents et des lézards. Ils les utilisent comme hibernacles ou comme refuges pour échapper aux prédateurs. La température stable à l'intérieur des anfractuosités et des talus d'éboulis permet à ces animaux ectothermes d'y passer la saison froide, en particulier les individus à la limite nord de l'aire de répartition de leur espèce (Herrington, 1988).

En Amérique du Nord, des serpents comme le crotale de l'Ouest (*Crotalus oreganus*) et le massasauga (*Sistrurus catenatus*) hibernent dans les crevasses et les talus, où la température stable les protège des conditions létales pendant l'hiver (Gienger et Beck, 2011; Harvey et Weatherhead, 2006). Ces habitats sont d'autant plus utilisés lorsqu'ils sont orientés au sud et davantage exposés au soleil, ce qui est propice à la thermorégulation au printemps. L'aire de répartition du crotale de l'Ouest comprend l'ouest des États-Unis et le centre-sud de la Colombie-Britannique. Ce serpent est considéré comme menacé selon la *Loi sur les espèces en péril du Canada* (COSEPAC, 2015). Le massasauga est présent du nord du Mexique au sud de l'Ontario, en passant par le centre des États-Unis. Les populations de cette espèce en Ontario sont protégées par la même loi fédérale canadienne (COSEPAC, 2012). Le lézard à flancs maculés du Nord (*Uta stansburiana*), qui vit dans l'ouest des États-Unis et au nord du Mexique, fuit vers les falaises à l'approche de serpents prédateurs (Zani et collab., 2009).

Arthropodes

Les habitats des parois rocheuses et de leurs éboulis constituent des îlots de diversité pour certains groupes d'arthropodes (Růžička et Klimeš, 2005). Les conditions microclimatiques extrêmes à la surface des parois conviennent à certaines espèces thermophiles. À l'opposé, les températures fraîches et stables à l'intérieur des talus d'éboulis permettent d'héberger des populations reliques d'espèces arctiques (Růžička et Zacharda, 1994; Zacharda et collab., 2005).

Certains arthropodes utilisent les habitats rocheux pour chasser et se reproduire (Liczner et Colla, 2019; Orr et collab., 2016). Ces derniers peuvent aussi servir d'hibernacles, notamment pour des coccinelles (observation personnelle). Orr et collab. (2016) ont décrit une espèce d'abeille, *Anthophora pueblo*, qui niche dans les escarpements de grès du désert américain. Certains arthropodes profitent indirectement des microhabitats associés aux habitats rocheux par la disponibilité de leur plante hôte. Par exemple, *Erebia christi*,

un lépidoptère rare en Suisse et en Italie et classé vulnérable par l'Union internationale pour la conservation de la nature, est intimement associé aux parois sur lesquelles poussent ses plantes hôtes, *Festuca* spp. (Battisti et collab., 2021).

Koponen (1990) a documenté la présence de 39 espèces d'araignées à la base de falaises du parc national Forillon, au Québec. Parmi elles, 5 étaient des espèces subarctiques alpines, tandis que 5 autres étaient des espèces thermophiles se trouvant à la limite nord de leur aire de répartition. De même, des populations reliques d'araignées typiquement trouvées plus au nord ont été découvertes autour et à l'intérieur de talus d'éboulis en République tchèque (Růžička et Klimeš, 2005; Zacharda et collab., 2005).

Gastéropodes

Les communautés de gastéropodes associées aux habitats rocheux ont été étudiées en Allemagne (Lüth, 1993), aux États-Unis (Lawrey, 1980; Nekola, 1999; 2003; Nekola et Smith, 1999), en Suède (Baur et collab., 1995) et en Suisse (Schmera et collab., 2018). Elles sont particulièrement diversifiées et comprennent des espèces spécialistes, c'est-à-dire des escargots résistants à la dessiccation qui se nourrissent de lichens et de cyanobactéries croissant sur la pierre (Baur et collab., 1995; Fröberg et collab., 2011). Par exemple, du côté états-unien de l'escarpement du Niagara, Nekola (2003) a documenté la présence de 63 espèces sur les escarpements, ce qui représente la plus grande diversité parmi les 20 habitats échantillonnés. Treize des 82 espèces observées dans l'ensemble des 242 sites à l'étude et répartis dans les 20 habitats étaient associées aux escarpements. Du côté canadien de l'escarpement du Niagara, en Ontario, McMillan et collab. (2003) ont observé des escargots considérés rares pour la province, comme *Carychium nannodes* ou *Vallonia gracilicosta*.

Conséquences de l'escalade sur la biodiversité

En raison de la spécificité des sites où on la pratique, l'escalade a des conséquences qui lui sont propres. Comme les autres activités de plein air, elle est aussi associée à des perturbations d'ordre plus général comme le piétinement, la coupe de végétaux pour l'aménagement de sentiers, le dépôt de déchets et la présence de chiens (Apollo, 2021). Des préoccupations quant à la conservation du patrimoine géologique ont aussi été soulevées par certains auteurs (Ruban et Ermolaev, 2020). Cette section brosse un portrait des perturbations spécifiques à l'escalade et de leurs répercussions sur la biodiversité.

Nature spécifique des perturbations liées à l'escalade en milieu naturel

En milieu naturel, l'escalade se pratique sur des falaises, sur des escarpements ou sur des blocs. L'aménagement et l'utilisation des sites d'escalade perturbent ces habitats, ainsi que les milieux adjacents et les sentiers empruntés pour y accéder. L'ouverture de nouvelles voies consiste à aménager un segment de rocher pour le rendre praticable pour l'escalade. Cela implique

de dégager les prises possibles en y retirant la végétation, les lichens et l'humus (FQME, 2014). Le long des voies dédiées à l'escalade sportive et mixte, on perce des trous dans la roche pour y fixer des ancrages métalliques permanents dans lesquels les grimpeurs peuvent passer leur corde. La plupart des voies comprennent aussi à leur sommet un relais, composé d'anneaux métalliques, grâce auquel les grimpeurs peuvent descendre en rappel. Ces pratiques favorisent la sécurité des grimpeurs, mais affectent la roche et les espèces associées.

En ce qui concerne l'escalade de bloc, elle se fait sur des blocs plutôt que sur des parois de falaises ou d'escarpements. Comme pour l'escalade sportive et traditionnelle, les surfaces sont brossées pour en retirer la végétation, les lichens et l'humus. Par contre, on n'installe pas d'ancrages. Pour réduire les risques de blessure lors de chutes, les pierres, les arbres et les arbustes à proximité sont généralement retirés. Des matelas sont posés par terre, sous la personne qui grimpe. Les conséquences de l'escalade de bloc sont encore peu documentées (Bogges et collab., 2021).

L'intensité des répercussions de l'escalade varie selon le niveau de difficulté des voies, le style d'escalade et l'achalandage des sites (Schmera et collab., 2018). Les voies d'escalade traditionnelle n'ont pas d'ancrages permanents, à l'exception d'un relais dans certains cas. Les grimpeurs qui pratiquent ce style d'escalade insèrent plutôt des coinces dans des fissures et des crevasses lors de l'ascension. Ceux-ci agissent comme ancrages temporaires et sont retirés par la suite. L'insertion de coinces peut perturber les espèces végétales et animales qui occupent ces microhabitats. Par contre, l'escalade traditionnelle est moins populaire que l'escalade sportive et son incidence est donc vraisemblablement moindre. De même, indépendamment du style d'escalade, les voies plus difficiles sont généralement aménagées sur des parois présentant peu d'aspérités et qui sont ainsi peu propices à l'établissement d'espèces végétales (Kuntz et Larson, 2006).

La poudre de magnésie est utilisée par de nombreux grimpeurs pour augmenter l'adhérence de leurs mains aux prises. Des résidus, visibles à l'œil nu ou non, sont laissés sur les sites d'escalade, en particulier aux endroits servant de prises (figure 3). En raison de son pH élevé, la poudre de magnésie pourrait avoir un effet négatif sur la végétation (Hepenstrick et collab., 2020).

Finalement, la pratique de l'escalade a des conséquences indirectes sur les milieux à proximité des sites. Le piétinement à la base des parois, autour des blocs et sur les sentiers d'approche, constitue une perturbation considérable. Le piétinement est causé par les personnes qui demeurent à la base des parois pour assurer leur partenaire en train de grimper, par les déplacements des grimpeurs entre les voies et par le dépôt de matériel. Sur les sites où l'achalandage est élevé, la zone piétinée peut couvrir plusieurs mètres de largeur (figure 4). L'absence ou l'insuffisance de balises pour indiquer le sentier d'approche peut aboutir à un réseau de sentiers improvisés, ce qui augmente la superficie piétinée.

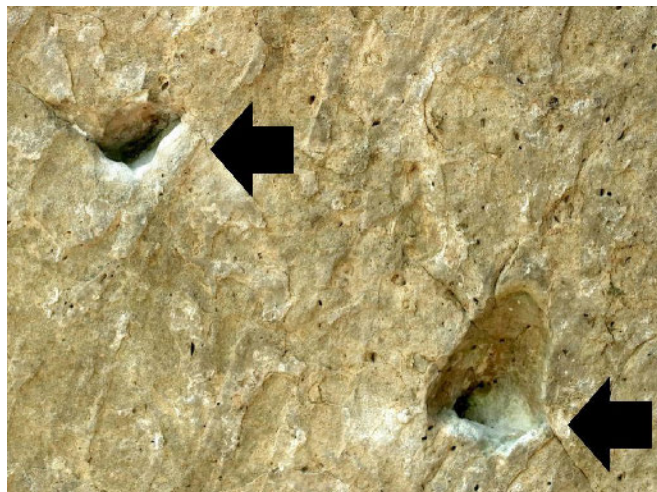


Photo : A.-P. Drapeau Picard

Figure 3. Traces de poudre de magnésie sur un bloc dans le Kamouraska, au Québec.

Conséquences pour la flore et les lichens

L'incidence de l'escalade sur la végétation a fait l'objet de plusieurs études dont les conclusions sont mitigées. Par exemple, Clark et Hessl (2015) ont mesuré une association faible, mais significative entre l'abondance et la diversité de plantes vasculaires et l'utilisation de parois pour l'escalade dans une étude réalisée sur une centaine de sites en Virginie-Occidentale. Dans une étude similaire réalisée du côté canadien de l'escarpement du Niagara, Kuntz et Larson (2006) concluent que les différences de végétation entre les parois utilisées pour l'escalade et celles qui ne le sont pas découlent d'une préférence pour les parois présentant moins de végétation lors de l'aménagement de nouvelles voies. Dans une revue de littérature incluant 13 études portant sur les conséquences de l'escalade sur la végétation, Holzschuh (2016) souligne des résultats contradictoires et conclut qu'il est impossible de généraliser à partir des connaissances actuelles.

Les populations peuvent être perturbées, voire décimées par l'ouverture de voies d'escalade. Associé aux roches acides, le lichen *Arctoparmelia centrifuga* dispose d'un statut de protection dans les États américains du Minnesota et de la Virginie, ainsi qu'en Alberta (NatureServe, 2021 ; Thomson, 1984). L'escalade a été ciblée comme un enjeu pour la conservation de l'espèce aux États-Unis en raison de sa faible capacité de dispersion et de sa croissance lente (Wetmore, 2002).

Les dommages causés à la végétation des sites d'escalade peuvent modifier la structure des populations. En Illinois, Nuzzo (1995) a comparé la croissance et la densité de population de *Solidago sciaphila*, une plante herbacée spécialiste des parois calcaires, entre des sites fréquentés par des grimpeurs, d'autres qui n'étaient plus fréquentés depuis 2 ans et d'autres encore où l'escalade n'avait jamais été pratiquée. L'auteur a observé une réduction de la croissance et de la densité sur les sites fréquentés. En revanche, les populations des sites préservés étaient comparables à celles des sites fermés



Photo : A.-P. Drapeau Picard

Figure 4. Piétinement du talus à la base d'une paroi aménagée pour l'escalade à la montagne d'Argent, à La Conception, au Québec. L'effet du piétinement se constate par l'absence de végétation sur une bande de quelques mètres de largeur le long de la base de la paroi.

à l'escalade depuis 2 ans. Ces résultats suggèrent que l'état des populations de certaines espèces résilientes peut être restauré relativement rapidement, après quelques années sans exposition aux grimpeurs. Kelly et Larson (1997) ont observé que les populations de *Thuja occidentalis* sur des parois de l'escarpement du Niagara ont des proportions plus faibles d'individus plus vieux et plus jeunes dans les sites où l'escalade est pratiquée. Les auteurs ont aussi noté un pourcentage élevé d'individus portant des marques de dommages, et soupçonnent que l'escalade pourrait nuire à la régénération des peuplements. En Allemagne, Vogler et Reish (2011) ont comparé des populations de *Draba aizoides*, une brassicacée rare et protégée dans certains pays d'Europe, sur des sites où se pratique l'escalade à d'autres non exposés à cette activité. Ils ont mesuré une taille et une abondance réduites des individus des populations des sites fréquentés par des grimpeurs.

Les grimpeurs recherchent les mêmes caractéristiques de parois qui sont spécifiques à certaines espèces végétales.

Les parois plus ensoleillées, par exemple, sont associées à des espèces végétales reliques. Elles sont aussi attrayantes pour les grimpeurs, puisqu'elles sèchent plus rapidement le matin ou après les précipitations, en plus d'être praticables pendant une plus longue période de l'année en raison des températures plus élevées (Müller et collab., 2004). Il peut donc y avoir conflit entre la valeur écologique d'une paroi et son intérêt comme site d'escalade.

L'incidence de la poudre de magnésie est peu documentée. Dans la seule étude sur le sujet publiée à ce jour, Hepenstrick et collab. (2020) montrent que cette substance peut nuire à la germination et à la croissance de certaines espèces de fougères et de mousses.

Lichens

Les parois aménagées pour l'escalade présentent une diversité et une abondance de lichens plus faibles que celles sans escalade (Adams et Zaniewski, 2012 ; Clark et Hessler, 2015 ; Covy et collab., 2019 ; Tessler et Clark, 2016). Les lichens foliacés et fruticuleux sont particulièrement affectés (Adams et Zaniewski, 2012). Le couvert de lichens est drastiquement réduit lors de l'aménagement de nouvelles voies et la diminution s'accroît en fonction de l'achalandage (Schweizer et collab., 2021).

Conséquences pour la faune

La présence de grimpeurs a un effet direct sur les espèces animales dont l'habitat inclut des sites d'escalade. La faune est aussi influencée indirectement par la modification des ressources alimentaires et la structure de l'habitat (McCaffrey et Galen, 2011 ; Pescott et collab., 2015). Par exemple, le piétinement de la végétation autour des sites d'escalade peut réduire l'abondance de ressources alimentaires et fragmenter l'habitat de certaines espèces (Rusterholz et collab., 2011). Nourrir la faune, directement ou en laissant des résidus alimentaires sur les sites, peut aussi avoir des conséquences (Apollo, 2021).

Mammifères

Les quelques études réalisées pour mesurer les répercussions de l'escalade sur les mammifères ont porté sur les chauves-souris. Au Colorado, Wilson (2019) a montré que les chauves-souris sont plus diversifiées et abondantes sur les parois qui ne sont pas utilisées pour l'escalade. L'escalade représente une source potentielle de dérangement et d'introduction du syndrome du museau blanc et a été identifiée comme activité susceptible de nuire à la chauve-souris blonde (*Antrozous pallidus*), une espèce menacée au Canada (ECCC, 2017a).

Oiseaux

La présence de grimpeurs modifie le comportement des oiseaux qui nichent sur les parois des falaises, ce qui pourrait nuire à l'alimentation des oisillons et augmenter le risque de prédation (Attarian et Keith, 2008). Ces perturbations contribuent à réduire le succès reproducteur de plusieurs espèces.

La présence de grimpeurs est associée à une réduction de la diversité aviaire, à une diminution de l'utilisation des escarpements par certaines espèces et à une augmentation de la présence d'espèces d'oiseaux généralistes et exotiques (Camp et Knight, 1998 ; Covy et collab. 2019). Ainsi, Brambilla et collab. (2004) ont observé un taux de reproduction plus faible chez les faucons pèlerins (*Falco peregrinus*) nichant sur des escarpements aussi occupés par des corbeaux (*Corvus corax*) ou fréquentés par des grimpeurs en comparaison avec des faucons exposés à aucune de ces deux perturbations. Les faucons exposés à la fois aux corbeaux et aux grimpeurs ont eu un taux de reproduction nul.

Invertébrés

L'influence de l'escalade sur les invertébrés est largement sous-documentée (Holzschuh, 2016). L'une des rares études a été réalisée par McMillan et collab. (2003) sur l'escarpement du Niagara, en Ontario. Les auteurs ont observé une densité et une diversité de gastéropodes plus basses sur les parois utilisées pour l'escalade. Ces résultats ont été corroborés par Schmera et collab. (2018) en Suisse.

L'influence de l'escalade sur les arthropodes n'a été documentée que par Covy et collab. (2019). Les auteurs ont comparé les arthropodes sur des sites peu et très achalandés et n'ont détecté aucun effet de l'achalandage sur la biomasse et la diversité de ces organismes. Par contre, leur dispositif expérimental n'incluait pas de sites témoins, c'est-à-dire des sites sans escalade. De plus, les arthropodes échantillonnés n'ont été identifiés qu'au niveau de l'ordre, ce qui fournit peu d'informations sur la composition des assemblages.

Exemples de mesures d'atténuation existantes

Les organisations qui encadrent l'escalade sont sensibles aux conséquences de cette discipline en milieu naturel et incitent leurs membres à s'adonner à leur passion tout en respectant l'environnement (Attarian et Keith, 2008). En Amérique du Nord, des mesures d'atténuation ont été mises en place dès les années 1970 par des organisations qui encadrent la pratique de l'escalade pour réduire l'achalandage sur les parois où nichent des rapaces (Pyke, 1997). Initialement marginales, ces mesures sont désormais largement répandues.

Dans certains parcs nationaux états-unis, un permis est requis pour les grimpeurs qui bivouaquent à proximité des sites d'escalade. L'imposition d'un permis est un exemple de mesure permettant de restreindre l'accès à certains sites (Attarian et Keith, 2008). Au Québec, la plupart des sites d'escalade sont réservés aux membres de la FQME. Toutefois, les contrôles y sont rares et des grimpeurs non membres les fréquentent (observation personnelle).

Aujourd'hui, la plupart des documents de référence sur l'escalade comprennent une section dédiée aux conséquences environnementales de ce sport (Attarian et Keith, 2008). En collaboration avec des organismes de protection de la faune, des guides de bonnes pratiques ont été créés pour limiter les répercussions des grimpeurs sur certaines espèces protégées (Bussière, 2010 ; Hutson et Penney, 2017). Au Québec, par

exemple, l'accès à certaines voies d'escalade est interdit pendant la période de nidification du faucon pèlerin (Bussière, 2010).

Les mesures d'atténuation se reflètent dans le comportement des grimpeurs. Les résultats d'un sondage mené auprès de grimpeurs états-uniens et canadiens montrent que la majorité d'entre eux condamnent le fait de laisser les chiens sans laisse sur les sites d'escalade et le fait d'outrepasser les restrictions visant à protéger les rapaces qui y nichent (Carter et collab., 2020). Toutefois, les grimpeurs moins expérimentés sont moins sensibilisés aux conséquences environnementales de leur sport (Schwartz et collab., 2019).

Il arrive aussi que des restrictions d'accès soient imposées aux grimpeurs et aux organisations. Par exemple, des sites ont été complètement fermés à la suite d'une décision unilatérale des autorités. C'est le cas du mont Saint-Hilaire, au Québec, où, après des décennies d'utilisation par les grimpeurs, l'escalade a été interdite pour protéger la faune et la flore (Tison, 2018). De même, l'accès aux falaises a été interdit au parc national du Bic peu après sa création et le demeure à ce jour malgré des négociations avec une association locale de grimpeurs (Faubert, 2014; Sépaq, communication personnelle).

Discussion

Sans vouloir décourager la pratique de l'escalade, cette revue de littérature vise en premier lieu à mettre en lumière la grande valeur écologique des habitats que sont les falaises, les escarpements, les blocs et les talus d'éboulis. Ceux-ci hébergent des espèces rares ou endémiques, de même que des populations reliques, et représentent ainsi des îlots de biodiversité (Koponen, 1990; Morisset, 1979). Les récentes descriptions d'espèces témoignent du potentiel de découverte de ces habitats (Anderson et Lendemer, 2016; Brinker et Knudsen, 2019).

La popularité grandissante de l'escalade accroît l'achalandage aux sites existants et motive l'aménagement de nouveaux sites. L'augmentation rapide du nombre de grimpeurs (figure 2) représente un défi pour la croissance durable de l'escalade en milieu naturel. Dans les régions où les parois rocheuses sont rares, l'aménagement et l'utilisation des sites d'escalade peuvent entrer en conflit avec la conservation des espèces associées à ces habitats.

Les recherches réalisées pour documenter les conséquences de l'escalade montrent un effet généralement négatif sur les espèces spécialistes, mais positif sur certaines espèces généralistes (Brambilla et collab., 2004; Camp et Knight, 1998; Covy et collab., 2019). Certaines espèces retrouvent toutefois leur état initial quelques années seulement après l'arrêt de l'escalade, ce qui est encourageant pour la restauration (Nuzzo, 1995). Toutefois, les espèces à croissance plus lente, comme les lichens, ne sont probablement pas aussi résilientes.

Lacunes dans les connaissances actuelles

La majorité des études recensées portent sur la flore et, dans une moindre mesure, sur les oiseaux et les gastéropodes. Les conséquences de l'escalade demeurent sous-documentées pour plusieurs autres groupes d'organismes, notamment

les arthropodes, les amphibiens et les reptiles (Holzschuh, 2016). Les arthropodes constituent pourtant la vaste majorité des espèces animales terrestres. Ils comprennent d'ailleurs des groupes qui peuvent être utilisés avantageusement comme indicateurs écologiques, par exemple les araignées et les fourmis (Pétillon et collab., 2014). Les futures recherches devraient donc inclure certains groupes d'arthropodes.

Dans une synthèse récente, Boggess et collab. (2021) soulignent que la majorité des études sur les répercussions de l'escalade n'incluent pas de groupe témoin adéquat, ce qui mériterait d'être corrigé. Probablement par contrainte logistique, la plupart des auteurs ont comparé des sites d'escalades déjà aménagés à d'autres sites intacts. Schweizer et collab. (2021) sont probablement les seuls à avoir caractérisé des habitats rocheux avant et après utilisation par des grimpeurs. L'aménagement de nouvelles voies constituant l'une des principales perturbations associées à l'escalade, il est primordial de quantifier son incidence.

La majorité des études ont porté sur l'escalade d'escarpements rocheux. Peu ont porté sur l'escalade de blocs, et aucune sur l'escalade de glace. Les premières recherches sur l'incidence de la poudre de magnésie suggèrent que des organismes y sont sensibles, mais cela reste à démontrer, en particulier pour la flore et la faune gastéropode.

Pistes pour les efforts de conservation et les recherches

Bien que des changements dans le comportement des grimpeurs aient été observés à la suite des efforts de sensibilisation, l'effet réel des mesures d'atténuation sur la biodiversité n'a pas encore été mesuré (Carter et collab., 2020). Par exemple, si la situation du faucon pèlerin s'est améliorée au cours des dernières années en Amérique du Nord, il est impossible d'isoler l'effet des mesures relatives à l'escalade (EROP, 2018). Pour perfectionner les mesures d'atténuation, optimiser les efforts de conservation et justifier les restrictions d'accès à certains sites d'escalade, il est nécessaire de déterminer l'efficacité réelle des mesures qui sont mises en place. Pour ce faire, des suivis doivent être réalisés là où des mesures ont été instaurées, mais aussi sur des sites d'escalade sans mesure et sur des sites sans escalade, et ce pendant quelques années, selon les espèces.

Même si l'escalade a connu un essor au cours des dernières décennies, plusieurs régions conservent un pourcentage élevé d'habitats aux parois rocheuses intactes. Par contre, le nombre exact et les caractéristiques écologiques de ces sites sont souvent inconnus. À l'aide d'outils géomatiques, il serait pertinent de combiner les données d'imagerie satellitaire et de cartes topographiques pour inventorier les habitats rocheux dans une région donnée (deCastro-Arrazola et collab., 2021).

L'absence d'un groupe témoin adéquat est une lacune méthodologique majeure dans la plupart des études sur les conséquences de l'escalade (Boggess et collab., 2021). Les données prises avant toute perturbation, comparées

à celles d'inventaires réalisés après l'aménagement des voies et leur utilisation, permettraient de connaître ces conséquences. La réalisation d'un inventaire de biodiversité avant l'aménagement de nouvelles voies d'escalade devrait faire partie des bonnes pratiques. Des grimpeurs « éclairés » adéquatement formés pourraient participer à la réalisation de tels inventaires en utilisant des méthodes d'échantillonnage adaptées aux espèces visées. Des drones pourraient aussi être utilisés pour inventorier la végétation des escarpements, comme cela a été fait en Italie et en Chine (Strumia et collab., 2020; Zhou et collab., 2021). Ces données pourraient ensuite servir à identifier les sites à prioriser pour la conservation. Cette approche favoriserait un équilibre entre la conservation de la biodiversité et la pratique durable de l'escalade en milieu naturel. Les sites à haute valeur écologique, c'est-à-dire hébergeant des espèces protégées ou des assemblages d'espèces remarquables, devraient être préservés de l'escalade et de toute autre activité pouvant menacer leur intégrité.

Les parois rocheuses étant difficiles d'accès, les grimpeurs constituent des collaborateurs potentiels très utiles pour en documenter la biodiversité (Boggess, 2013). D'ailleurs, les techniques d'escalade ont récemment été utilisées à cette fin (Battisti et collab., 2021; Villarroel et collab., 2022). Des programmes existent pour documenter l'occupation par les oiseaux de proie, notamment le faucon pèlerin (Bussière, 2010). D'autres protocoles pourraient être élaborés en collaboration avec les associations d'escalade pour faire le suivi de taxons différents, en fonction des champs d'intérêt et des priorités locales. Finalement, l'utilisation de plateformes de science participative (p. ex. iNaturalist.org) pourrait être encouragée pour colliger les observations.

Conclusion

L'escalade constitue une perturbation pour plusieurs espèces associées aux habitats où on la pratique. Les données disponibles ne permettent pas de tirer des conclusions générales. Les organisations qui encadrent la pratique de ce sport sont néanmoins sensibles à ces perturbations et ont adopté des mesures pour les diminuer. L'augmentation rapide du nombre de grimpeurs représente un défi pour la croissance durable de l'escalade en milieu naturel. Les répercussions de cette activité demeurent à évaluer pour plusieurs taxons, notamment les arthropodes, les amphibiens et les reptiles. La réalisation d'un inventaire de biodiversité avant l'aménagement de nouvelles voies devrait faire partie des bonnes pratiques. Des suivis sont nécessaires pour évaluer l'effet des mesures d'atténuation. Une collaboration plus étroite entre les experts en conservation et les organisations qui encadrent la pratique de l'escalade permettra le développement durable de cette discipline tout en contribuant à l'avancement des connaissances sur les habitats rocheux.

Remerciements

L'auteur remercie l'équipe éditoriale du *Naturaliste canadien* et 2 réviseurs pour leur contribution à la qualité de cette revue de littérature. L'auteur est aussi reconnaissant envers Denys Dubuc et Amélie Toupin, grimpeurs d'expérience, ainsi qu'à Constance Morel, dont les commentaires ont contribué à la qualité du manuscrit. ◀

Références

- ADAMS, M.D. et K. ZANIEWSKI, 2012. Effects of recreational rock climbing and environmental variation on a sandstone cliff-face lichen community. *Botany*, 90: 253-259. <https://doi.org/10.1139/b11-109>.
- ANDERSON, F. et J.C. LENDEMER, 2016. *Aspicilia bicensis* (Megasporaceae), a new sterile, pustulose lichen from eastern Canada. *The Bryologist*, 119: 8-15. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-119.1.008>.
- APOLLO, M., 2021. Environmental impacts of mountaineering: A conceptual framework. Springer, New York, 63 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-72667-6>.
- ATTARIAN, A. et J. KEITH, 2008. Climbing management: A guide to climbing issues and the development of a climbing management plan. The Access Fund, Boulder (CO). 76 p.
- BATTISTI, A., M. GABAGLIO, M. RUGHETTI, R. BIONDA, R. AMSTUTZ, G. DUSEJ et R. VODĀ, 2021. Use of the single rope access technique reveals habitat use patterns for the elusive *Erebia christi* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Journal of Insect Conservation*, 25: 77-87. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00284-6>.
- BAUR, B., L. FRÖBERG et A. BAUR, 1995. Species diversity and grazing damage in a calcicolous lichen community on top of stone walls in Öland, Sweden. *Annales Botanici Fennici*, 32: 239-250.
- BLEICH, V.C., 1999. Mountain sheep and coyotes: Patterns of predator evasion in a mountain ungulate. *Journal of Mammalogy*, 80: 283-289. <https://doi.org/10.2307/1383228>.
- BOGGESS, L.M., 2013. Cliff ecology of the Big South Fork National River and Recreation Area. Mémoire de maîtrise, Appalachian State University, Boone (NC), 62 p. Disponible en ligne à : https://libres.uncg.edu/ir/asu/ff/Boggess,%20Laura_2013_Thesis.pdf.
- BOGGESS, L.M., G.R. HARRISON et G. BISHOP, 2021. Impacts of rock climbing on cliff vegetation: A methods review and best practices. *Applied Vegetation Science*, 24: e12583. <https://doi.org/10.1111/avsc.12583>.
- BRAMBILLA, M., D. RUBOLINI et F. GUIDALI, 2004. Rock climbing and raven *Corvus corax* occurrence depress breeding success of cliff-nesting peregrines *Falco peregrinus*. *Ardeola*, 51: 425-430.
- BRINKER, S.R. et K. KNUDSEN, 2019. The first confirmed report of *Acarospora bullata* from North America. *Opuscula Philolichenum*, 18: 11-16.
- BUSSIÈRE, F., 2010. Escalade et conservation. Guide de gestion des parois d'escalade pour la protection des oiseaux de proie. Regroupement Québec Oiseaux, Montréal, 25 p.
- CAMP, R.J. et R.L. KNIGHT, 1998. Rock climbing and cliff bird species diversity at Joshua Tree National Park, California. *Wildlife Society Bulletin*, 26: 892-898.
- CARTER, D.P., G. HUTSON, P. LAM, J. ROSE et N. FURMAN, 2020. The self-governance challenges facing climbers, with examples from Utah, Colorado, and Ontario. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 31: 100-323. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100323>.
- [CDPNQ] CENTRE DE DONNÉES SUR LE PATRIMOINE NATUREL DU QUÉBEC, 2008. Les plantes vasculaires menacées ou vulnérables du Québec. 3^e édition. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 180 p. Disponible en ligne à : <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/1906122>.

- [CIO] COMITÉ INTERNATIONAL OLYMPIQUE, 2016. Le CIO approuve l'admission de cinq nouveaux sports au programme des Jeux olympiques de Tokyo 2020. Disponible en ligne à : <https://olympics.com/cio/news/le-cio-approuve-l-admission-de-cinq-nouveaux-sports-au-programme-des-jeux-olympiques-de-tokyo-2020>. [Visité le 2022-05-15].
- CLARK, P. et A. HESSL, 2015. The effects of rock climbing on cliff-face vegetation. *Applied Vegetation Science*, 18: 705-715. <https://doi.org/10.1111/avsc.12172>.
- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2012. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le massasauga (*Sistrurus catenatus*) au Canada. Ottawa, xv + 95 p.
- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2014. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'arnica de Griscom (*Arnica griscomii* ssp. *griscomii*) au Canada. Ottawa, x + 41 p.
- [COSEPAC] COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA, 2015. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le crotale de l'Ouest (*Crotalus oregonus*) au Canada. Ottawa, xiii + 49 p.
- CÔTÉ, S.D., A. PERACINO et G. SIMARD, 1997. Wolf, *Canis lupus*, predation and maternal defensive behavior in mountain goats, *Oreamnos americanus*. *The Canadian Field-Naturalist*, 111: 389-392.
- COVY, N., L. BENEDICT et W.H. KEELEY, 2019. Rock climbing activity and physical habitat attributes impact avian community diversity in cliff environments. *PLoS ONE*, 14: e0209557. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209557>.
- DECASTRO-ARRAZOLA, I., M. MARCH-SALAS et J. LORITE, 2021. Assessment of the potential risk of rock-climbing for cliff plant species and natural protected areas of Spain. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9: 611362. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.611362>.
- [ECCC] ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA, 2017a. Programme de rétablissement de la chauve-souris blonde (*Antrozous pallidus*) au Canada. Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril. Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa, 2 parties, 16 p. + 56 p.
- [ECCC] ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA, 2017b. Plan de gestion du faucon pèlerin de la sous-espèce pealei (*Falco peregrinus pealei*) au Canada. Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa, 4 p. + 38 p.
- [EROP] ÉQUIPE DE RÉTABLISSMENT DES OISEAUX DE PROIE DU QUÉBEC, 2018. Plan de rétablissement du faucon pèlerin (*Falco peregrinus anatum/tundrius*) au Québec – 2019-2029. Produit pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 58 p. Disponible en ligne à : <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/plan-retablissement-faucon-pelerin-2019-2029/>.
- [EROP] ÉQUIPE DE RÉTABLISSMENT DES OISEAUX DE PROIE DU QUÉBEC, 2020. Plan de rétablissement de l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) au Québec – 2020-2030. Produit pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 58 p.
- FAUBERT, J., 2014. Les bryophytes du parc du Bic, Québec, Canada. Rapport présenté à la direction du parc national du Bic, 8 p. + annexes.
- FESTA-BIANCHET, M., T. COULSON, J.-M. GAILLARD, J.T. HOGG et F. PELLETIER, 2006. Stochastic predation events and population persistence in bighorn sheep. *Proceedings of the Royal Society B*, 273: 1537-1543. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3467>.
- [FQME] FÉDÉRATION QUÉBÉCOISE DE LA MONTAGNE ET DE L'ESCALADE, 2014. Équipement et aménagement d'un site naturel d'escalade — Manuel de l'ouvreur-équipieur. 233 p. + annexes.
- [FQME] FÉDÉRATION QUÉBÉCOISE DE LA MONTAGNE ET DE L'ESCALADE, 2021a. Textes officiels de la FQME. Fédération québécoise de la montagne et de l'escalade, Montréal. Disponible en ligne à : <https://fqme.qc.ca/textes-officiels/>. [Visité le 2022-05-15].
- [FQME] FÉDÉRATION QUÉBÉCOISE DE LA MONTAGNE ET DE L'ESCALADE, 2021b. Lieux de pratique. Fédération québécoise de la montagne et de l'escalade, Montréal. Disponible en ligne à : <https://fqme.qc.ca/escalade/presentation/>. [Visité le 2022-05-15].
- FRÖBERG, L., P. STOLL, A. BAUR et B. BAUR, 2011. Snail herbivory decreases cyanobacterial abundance and lichen diversity along cracks of limestone pavements. *Ecosphere*, 2: 1-43. <https://doi.org/10.1890/ES10-00197.1>.
- GIENGER, C.M. et D.D. BECK, 2011. Northern Pacific rattlesnakes (*Crotalus oregonus*) use thermal and structural cues to choose overwintering hibernacula. *Canadian Journal of Zoology*, 89: 1084-1090. <https://doi.org/10.1139/z11-086>.
- GRAHAM, L. et R.L. KNIGHT, 2004. Multi-scale comparisons of cliff vegetation in Colorado. *Plant Ecology*, 170: 223-234. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000021675.32902.7f>.
- HARRIS, S.A. et D.E. PEDERSEN, 1998. Thermal regimes beneath coarse blocky materials. *Permafrost and Periglacial Processes*, 9: 107-120. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1530\(199804/06\)9:2<107::AID-PPP277>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1530(199804/06)9:2<107::AID-PPP277>3.0.CO;2-G).
- HART, J.L. et D. SHANKMAN, 2005. Disjunct eastern hemlock (*Tsuga canadensis*) stands at its southern range boundary. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 132: 602-612. [https://doi.org/10.3159/1095-5674\(2005\)132\[602:DEHTCS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3159/1095-5674(2005)132[602:DEHTCS]2.0.CO;2).
- HARVEY, D.S. et P.J. WEATHERHEAD, 2006. Hibernation site selection by eastern massasauga rattlesnakes (*Sistrurus catenatus catenatus*) near their northern range limit. *Journal of Herpetology*, 40: 66-73. <https://doi.org/10.1670/89-05A.1>.
- HEPENSTRICK, D., A. BERGAMINI et R. HOLDEREGGER, 2020. The distribution of climbing chalk on climbed boulders and its impact on rock-dwelling fern and moss species. *Ecology and Evolution*, 10: 11362-11371. <https://doi.org/10.1002/ece3.6773>.
- HERRINGTON, R.E., 1988. Talus use by amphibians and reptiles in the Pacific Northwest. Dans : SZARO, R.C., K.E. SEVERSON et D.R. PATTON (édit.). *Management of amphibians, reptiles, and small mammals in North America*. USDA Forest Service, Flagstaff (AZ), p. 216-221.
- HOLZSCHUH, A., 2016. Does rock climbing threaten cliff biodiversity? – A critical review. *Biological Conservation*, 204: 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.010>.
- HUTSON, G. et M. PENNEY, 2017. Ontario rock climbing management: Partnerships and strategies. Présentation faite à : Protected Areas Conference, Ontario, Canada.
- JUREKOVA, N., N. RASCHMANOVA, D. MIKLISOVA et L. KOVAC, 2021. Mesofauna at the soil-scrub interface in a deep karst environment. *Diversity*, 13: 242. <https://doi.org/10.3390/d13060242>.
- KELLY, P.E. et D.W. LARSON, 1997. Effects of rock climbing on populations of presettlement eastern white cedar (*Thuja occidentalis*) on cliffs of the Niagara Escarpment, Canada. *Conservation Biology*, 11: 1125-1132. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.96248.x>.
- KINCAID, J.A., 2016. Structure and dendroecology of *Thuja occidentalis* in disjunct stands south of its contiguous range in the central Appalachian Mountains, USA. *Forest Ecosystems*, 3: 25. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0085-4>.
- KOPONEN, S., 1990. Spiders (*Araneae*) on the cliffs of the Forillon National Park, Québec. *Le Naturaliste canadien*, 117: 161-165.
- KUNTZ, K.L. et D.W. LARSON, 2006. Influences of microhabitat constraints and rock-climbing disturbance on cliff-face vegetation communities. *Conservation Biology*, 20: 821-832. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00367.x>.
- LAMBERTUCCI, S.A. et A. RUGGIERO, 2013. Cliffs used as communal roosts by Andean condors protect the birds from weather and predators. *PLoS ONE*, 8: e67304. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067304>.
- LARSON, D.W., U. MATTHES et P.E. KELLY, 2000. *Cliff ecology: Pattern and process in cliff ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, xvi + 340 p.
- LAVOIE, C. et A. SAINT-LOUIS, 2008. Can a small park preserve its flora? A historical study of Bic National Park, Québec. *Botany*, 86: 26-35. <https://doi.org/10.1139/B07-106>.

- LAWREY, J.D., 1980. Correlations between lichen secondary chemistry and grazing activity by *Pallifera varia*. The Bryologist, 83: 328-334. <https://doi.org/10.2307/3242442>.
- LEDESMA, E., A. JIMÉNEZ-VALVERDE, E. BAQUERO, R. JORDANA, A. DE CASTRO et V.M. ORTUÑO, 2020. Arthropod biodiversity patterns point to the mesovoid shallow substratum (MSS) as a climate refugium. Zoology, 141: 125771. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2020.125771>.
- LICZNER, A.R. et S.R. COLLA, 2019. A systematic review of the nesting and overwintering habitat of bumble bees globally. Journal of Insect Conservation, 23: 787-801. <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00173-7>.
- LOEB, S.C. et P.G.R. JODICE, 2018. Activity of southeastern bats along sandstone cliffs used for rock climbing. Journal of Fish and Wildlife Management, 9: 255-265. <https://doi.org/10.3996/032017-JFWM-020>.
- LÜTH, M., 1993. Biotope in Baden-Württemberg. 6—Felsen und Blockhalden. Umweltministerium Baden-Württemberg. Karlsruhe, Allemagne. 36 p. Disponible en ligne à : <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/70530>.
- MATHESON, J.D. et D.W. LARSON, 1998. Influence of cliffs on bird community diversity. Canadian Journal of Zoology, 76: 278-287. <https://doi.org/10.1139/z97-195>.
- MCCAFFREY, J. et C. GALEN, 2011. Between a rock and a hard place: Impact of nest selection behavior on the altitudinal range of an alpine ant, *Formica neorufibarbis*. Environmental Entomology, 40: 534-540. <https://doi.org/10.1603/EN10304>.
- McMILLAN, M.A., J.C. NEKOLA et D.W. LARSON, 2003. Effects of rock climbing on the land snail community of the Niagara Escarpment in Southern Ontario, Canada. Conservation Biology, 17: 616-621. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01362.x>.
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2021. Liste des espèces fauniques menacées ou vulnérables au Québec : campagne des rochers. Disponible en ligne à : https://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=50&_ga=2.19910328.1640288263.1643533564-1319823375.1612218852&_gl=1*1f1ieke*_ga*MTMxOTg0YzMyMzU2My40LjAuMTY0MzUzMyZU2My4w. [Visité le 2022-05-15].
- MILLAR, C.I., R.D. WESTFALL, A. EVENDEN, J.G. HOLMQUIST, J. SCHMIDT-GENGEBACH, R.S. FRANKLIN, J. NACHLINGER et D.L. DELANY, 2015. Potential climatic refugia in semi-arid, temperate mountains: Plant and arthropod assemblages associated with rock glaciers, talus slopes, and their forefield wetlands, Sierra Nevada, California, USA. Quaternary International, 387: 106-121. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.11.003>.
- MORISSET, P., 1971. Endemism in the vascular plants of the Gulf of St. Lawrence. Le Naturaliste canadien, 98: 167-177.
- MORISSET, P., 1979. Localisation et abondance des plantes vasculaires arctiques-alpines et rares des falaises du parc national Forillon. Parcs Canada, p. 77-274.
- MOUNTAIN PROJECT, 2022. Canada climbing. Disponible en ligne à : <https://www.mountainproject.com/area/105881369/canada>. [Visité le 2022-05-15].
- MÜLLER, S.W., H.-P. RUSTERHOLZ et B. BAUR, 2004. Rock climbing alters the vegetation of limestone cliffs in the northern Swiss Jura Mountains. Canadian Journal of Botany, 82: 862-870. <https://doi.org/10.1139/b04-058>.
- NATURESERVE, 2021. *Arctoparmelia centrifuga*. NatureServe. Disponible en ligne à : https://explorer.natureserve.org/Taxon/ELEMENT_GLOBAL.2.123300/Arctoparmelia_centrifuga. [Visité le 2022-05-15].
- NAUGHTON, D., 2016. Histoire naturelle des mammifères du Canada. Éditions Michel Quintin, Montréal, Québec, 858 p.
- NEKOLA, J.C., 1999. Terrestrial gastropod richness of carbonate cliff and associated habitats in the Great Lakes region of North America. Malacologia, 41: 231-252.
- NEKOLA, J.C. et T.M. SMITH, 1999. Terrestrial gastropod richness patterns in Wisconsin carbonate cliff communities. Malacologia, 41: 253-269.
- NEKOLA, J.C., 2003. Terrestrial gastropod fauna of northeastern Wisconsin and the southern Upper Peninsula of Michigan. American Malacological Bulletin, 18: 1/2.
- NEWTON, I., 1979. Population ecology of raptors. Poyser, Berkhamsted, U.K., 432 p.
- NUZZO, V.A., 1995. Effects of rock climbing on Cliff Goldenrod (*Solidago sciaphila* Steele) in northwest Illinois. The American Midland Naturalist, 133: 229-241. <https://doi.org/10.2307/2426387>.
- NUZZO, V.A., 1996. Structure of cliff vegetation on exposed cliffs and the effect of rock climbing. Canadian Journal of Botany, 74: 607-617. <https://doi.org/10.1139/b96-077>.
- ORR, M.C., T. GRISWOLD, J.P. PITTS et F.D. PARKER, 2016. A new bee species that excavates sandstone nests. Current Biology, 26: R792-R793. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.001>.
- OUTDOOR FOUNDATION, 2021. 2021 Outdoor participation trends report. Outdoor Foundation, Boulder (CO), 27 p. Disponible en ligne à : <https://outdoorindustry.org/resource/2021-outdoor-participation-trends-report/>.
- PENNYCUICK, C.J. et K.D. SCHOLEY, 1984. Flight behavior of Andean condors *Vultur gryphus* and turkey vultures *Cathartes aura* around the Paracas Peninsula, Peru. Ibis, 126: 253-256. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1984.tb08005.x>.
- PESCOTT, O.L., J.M. SIMKIN, T.A. AUGUST, Z. RANDLE, A.J. DORE et M.S. BOTHAM, 2015. Air pollution and its effects on lichens, bryophytes, and lichen-feeding Lepidoptera: Review and evidence from biological records. Biological Journal of the Linnean Society, 115: 611-635. <https://doi.org/10.1111/bij.12541>.
- PÉTILLON, J., S. POTIER, A. CARPENTIER et A. GARBUTT, 2014. Evaluating the success of managed realignment for the restoration of salt marshes: Lessons from invertebrate communities. Ecological Engineering, 69: 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.085>.
- PREST, V.K., J.A. DONALDSON et H.D. MOOERS, 2000. The Omar Story: The role of Omars in assessing glacial history of west-central North America. Géographie physique et Quaternaire, 54: 257-270. <https://doi.org/10.7202/005654ar>.
- PYKE, K., 1997. Raptors and climbers: Guidance for managing technical climbing to protect raptor nest sites. Access Fund, Boulder (CO), 26 p.
- ROONEY, T.P., 1997. Escaping herbivory: Refuge effects on the morphology and shoot demography of the clonal forest herb *Maianthemum canadense*. The Journal of the Torrey Botanical Society, 124: 280-285. <https://doi.org/10.2307/2997262>.
- RUBAN, D.A. et V.A. ERMOLAEV, 2020. Unique geology and climbing: A literature review. Geosciences, 10: 259. <https://doi.org/10.3390/geosciences10070259>.
- RUSTERHOLZ, H.-P., C. VERHOUTRAETEN et B. BAUR, 2011. Effects of long-term trampling on the above-ground forest vegetation and soil seed bank at the base of limestone cliffs. Environmental Management, 48: 1024-1032. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9727-z>.
- RŮŽIČKA, V. et M. ZACHARDA, 1994. Arthropods of stony debris in the Krkonoše Mountains, Czech Republic. Arctic and Alpine Research, 26: 332-338. <https://doi.org/10.2307/1551794>.
- RŮŽIČKA, V. et L. KLIMEŠ, 2005. Spider (Araneae) communities of scree slopes in the Czech Republic. The Journal of Arachnology, 33: 280-289. <https://doi.org/10.1636/04-44.1>.
- SCHMERA, D., H.P. RUSTERHOLZ, A. BAUR et B. BAUR, 2018. Intensity-dependent impact of sport climbing on vascular plants and land snails on limestone cliffs. Biological Conservation, 224: 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.05.012>.
- SCHROEDER, J., 1977. La paroi subverticale, unité morphologique. Contribution à une réflexion épistémologique en géomorphologie. Norois, 95: 37-46. <https://doi.org/10.3406/noroi.1977.3604>.
- SCHWARTZ, F., B.D. TAFF, B. LAWHON, D. PETTEBONE, S. ESSER et A. D'ANTONIO, 2019. Leave No Trace bouldering ethics: Transitioning from the gym to the crag. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 25: 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2018.11.003>.

- SCHWEIZER, A.-M., L. HÖSCHLER et M.J. STEINBAUER, 2021. The physical damage of climbing activity on sandstone lichen cover. *Sustainability*, 13: 13590. <https://doi.org/10.3390/su132413590>.
- SPITALE, D. et J. NASCIMBENE, 2012. Spatial structure, rock type, and local environmental conditions drive moss and lichen distribution on calcareous boulders. *Ecological Research*, 27: 633-638. <https://doi.org/10.1007/s11284-012-0935-7>.
- STRUMIA, S., M. BUONANNO, G. ARONNE, A. SANTO et A. SANTANGELO, 2020. Monitoring of plant species and communities on coastal cliffs: Is the use of unmanned aerial vehicles suitable? *Diversity*, 12: 149. <https://doi.org/10.3390/d12040149>.
- TARDIF, B., G. LAVOIE et Y. LACHANCE, 2005. Atlas de la biodiversité du Québec. Les espèces menacées ou vulnérables. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Direction du développement durable, du patrimoine écologique et des parcs, Québec, 60 p. Disponible en ligne à : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/atlas-biodiversite-quebec-especes-menacees-vulnerables.pdf>.
- TESSLER, M. et T.A. CLARK, 2016. The impact of bouldering on rock-associated vegetation. *Biological Conservation*, 204: 426-433. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.004>.
- THOMSON, J.W., 1984. American Arctic Lichens. 1. The Macrolichens. Columbia University Press, New York, 504 p.
- TISON, M., 2018. Escalade au mont Saint-Hilaire : pas pour demain! La Presse. Disponible en ligne à : https://plus.lapresse.ca/screens/2474d7ba-8ea2-4e76-967c-e7128e4f3bef__7C__0.html. [Visité le 2022-05-15].
- VILLARROEL, A.E., K. MENEGOZ, C. LE QUESNE et R. MORENO-GONZALEZ, 2022. *Valeriana praecipitis* (Caprifoliaceae), a species new to science and endemic to central Chile. *PhytoKeys*, 189: 81-98. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.189.73959>.
- VIRTANEN, R. et J. OKSANEN, 2007. The effects of habitat connectivity on cryptogam richness in boulder metacommunity. *Biological Conservation*, 135: 415-422. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.10.013>.
- VOGLER, F. et C. REISCH, 2011. Genetic variation on the rocks – The impact of climbing on the population ecology of a typical cliff plant. *Journal of Applied Ecology*, 48: 899-905. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01992.x>.
- WALKER, G.L., 1987. Ecology and population biology of *Thuja occidentalis* L. in its southern disjunct range. Thèse de doctorat, University of Tennessee, Knoxville (TN), 320 p.
- WARD, J.P. et S.H. ANDERSON, 1988. Influences of cliffs on wildlife communities in southcentral Wyoming. *The Journal of Wildlife Management*, 52: 673-678. <https://doi.org/10.2307/3800930>.
- WETMORE, C., 2002. R9 species conservation assessment for *Arctoparmelia centrifuga* (L.) Hale in the Upper Great Lakes National Forests. Rapport remis au United States Forest Service, 11 p. Disponible en ligne à : <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/163583/ArctoparmeliaCentrifuga2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- WIESER, D., H. MIXANIG, K. KRÄINER, A. BRUCKNER et G. REITER, 2020. The importance of inland cliffs and quarries for bats. *Acta Chiropterologica*, 22: 391-402. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2020.22.2.013>.
- WILSON, A.K., 2019. The impacts of rock climbing on the selection of roosts by bats and the influence of these mammals on the biodiversity and nutrient influx of cliff-face ecosystems. Thèse de doctorat, University of Northern Colorado, Greeley (CO), 156 p. Disponible en ligne à : <https://digscholarship.unco.edu/dissertations/647/>.
- WISER, S.K., 1994. High-elevation cliffs and outcrops of the southern Appalachians: Vascular plants and biogeography. *Castanea*, 59: 85-116.
- ZACHARDA, M., M. GUDE, S. KRAUS, C. HAUCK, R. MOLENDEN et V. RŮŽIČKA, 2005. The relict mite *Rhagidia gelida* (Acari, Rhagidiidae) as a biological cryoindicator of periglacial microclimate in European highland screes. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37: 402-408. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2005\)037\[0402:TRMRGA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0402:TRMRGA]2.0.CO;2).
- ZANI, P.A., T.D. JONES, R.A. NEUHAUS et J.E. MILGROM, 2009. Effect of refuge distance on escape behavior of side-blotched lizards (*Uta stansburiana*). *Canadian Journal of Zoology*, 87: 407-414. <https://doi.org/10.1139/Z09-029>.
- ZHOU, H., J. ZHU, J. LI, Y. XU, Q. LI, E. YAN, S. ZHAO, Y. XIONG et D. MO, 2021. Opening a new era of investigating unreachable cliff flora using smart UAVs. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7: 638-648. <https://doi.org/10.1002/rse2.214>.

Marilou Bourdages (1982-2022) : une vie dédiée à la conservation de la biodiversité

Brice Caillié, Delphine Favorel et Jean-Philippe Renaut

Dès son jeune âge, Marilou Bourdages se passionne pour la nature. Ses parents s'en souviennent très bien : lors de son premier voyage en Gaspésie aux souches de la famille Bourdages, alors qu'elle est âgée de 9 ou 10 ans, Marilou visite le parc national Forillon et tombe en admiration devant les naturalistes qui décrivent en détail les « bibittes » dans les trous d'eau et les types d'algues ou de mousses qui y poussent. Elle en est fascinée et n'en décrochera jamais.

Une formation axée sur la biodiversité

Des années plus tard, à l'université, Marilou s'oriente vers la protection de la biodiversité. En 2005, elle obtient un baccalauréat en environnement (biodiversité et conservation) de l'Université McGill, puis, en 2009, une maîtrise en aménagement du territoire et développement régional de l'Université Laval. Déjà à l'époque, le travail de Marilou se démarque. En 2007, elle reçoit le prestigieux [Stan Rowe Home Place Graduate Award](#) du Conseil canadien des aires écologiques (CCAÉ), pour ses travaux portant sur la conception et la gestion des aires protégées.

Son [mémoire de maîtrise](#) sur la conservation et la diversité de la flore du parc national de l'Île-Bonaventure-et-du-Rocher-Percé la ramène à ses racines. Les travaux de terrain lui donnent une occasion unique de faire de longs séjours sous la tente sur l'île Bonaventure. En 2009, dans le cadre du Colloque sur la recherche scientifique dans le réseau québécois des parcs nationaux (Sépaq), elle corédige avec son directeur Claude Lavoie, un article pour *Le Naturaliste canadien*.

Parallèlement à ses études, Marilou s'implique activement dans plusieurs projets communautaires. En 2006, elle part en Équateur faire du bénévolat dans un jardin de plantes médicinales et, en 2009, elle participe, à Cuba, à la réalisation d'un jardin maraîcher urbain.

Une carrière basée sur l'acquisition et le partage de connaissances

Passionnée et dévouée, Marilou Bourdages a participé à l'inventaire de la flore printanière et arbustive de la Réserve de la biosphère du mont Saint-Hilaire en Montérégie et a animé des activités sur le jardinage, l'écologie forestière et les insectes



Photo : famille de Marilou Bourdages

auprès de groupes scolaires, de camps de jour et du grand public au Jardin botanique de Montréal. Elle a également travaillé pour le laboratoire de recherche sur les plantes exotiques envahissantes de l'Université Laval, pour lequel elle a réalisé plusieurs inventaires floristiques sur le terrain.

En 2011, Marilou décide de mettre à profit ses connaissances tout en allant découvrir l'Ouest canadien. Jamais loin des plantes, elle intègre le Jardin botanique et le Beaty Biodiversity Museum de l'Université de la Colombie-Britannique à Vancouver, où elle occupe le poste de coordonnatrice à l'éducation et aux bénévoles. Elle y crée et organise de nombreux ateliers de sensibilisation et d'éducation sur les écosystèmes locaux, la pollinisation,

les plantes comestibles, le jardinage et la saine alimentation. Toujours attentive aux autres, elle travaille sans relâche pour obtenir des subventions qui permettront de financer ces différents projets.

Elle travaille ensuite comme coordonnatrice à l'éducation pour la société de fermes urbaines Fresh Roots, où elle conçoit des activités pour éduquer et sensibiliser les groupes scolaires à la saine alimentation et à l'agriculture écologique.

Au service de la conservation volontaire

De retour au Québec en 2014, Marilou intègre le [Réseau de milieux naturels protégés](#) (RMN) et en devient la toute première employée. Elle apporte à l'organisme sa sensibilité à la cause de la conservation et sa grande écoute auprès des différents collaborateurs. Malgré les difficultés de financement du début, elle a maintenu la barre et a su rapidement positionner le RMN comme un acteur clé en conservation au Québec. Grâce à sa nature engagée, elle a su fédérer les organismes de conservation volontaire et unifier la voix de ces acteurs des 4 coins de la

Brice Caillié est le directeur général du Réseau de milieux naturels protégés. (brice.caillie@rmnat.org)

Delphine Favorel est une amie et ancienne employée du Réseau de milieux naturels protégés.

Jean-Philippe Renaut est un ami de longue date et le beau-frère de Marilou Bourdages.

province. Grâce à ses efforts, le mouvement de la conservation volontaire a fait des pas de géant.

Au fil des ans, elle a fait grossir les rangs de l'organisation et en est naturellement devenue directrice générale. Bien que le *Répertoire des milieux naturels protégés* (aujourd'hui *Répertoire des sites de conservation volontaire du Québec* ou plus simplement, le Répertoire) ait été pensé et conçu avant son embauche, c'est sous sa direction que cet outil se développe. Le Répertoire est aujourd'hui un outil incontournable pour la gestion des milieux naturels protégés, en complément du registre des aires protégées du Québec.

Rayonnant au-delà de la province, Marilou a représenté le Québec, à partir de 2015, au sein du Groupe de travail visant à rallier les organismes de conservation canadiens (GTOCC) autour d'une voix commune au Canada. Cet exercice aboutira finalement à la création de l'*Alliance canadienne des organismes de conservation* (ACOC), incorporée en 2022.

En 2017, Marilou a été l'une des initiatrices de la lutte contre le projet *Northern Pass* et des efforts pour protéger la servitude du mont Hereford, aux côtés d'autres organismes comme Corridor appalachien, le Conseil régional de l'Estrie et Nature Québec. Grâce notamment à son travail sans relâche de représentations médiatiques et de mobilisation, la coalition a réussi à protéger ce milieu naturel contre l'installation d'une ligne à haute tension. Cette victoire a constitué un pas important vers la reconnaissance des initiatives de conservation en terres privées dans tout le Québec.

Toujours pleine de ressources et d'idées, elle a contribué à l'obtention du Programme de soutien à la mission pour des organismes environnementaux (PSMOE) pour le RMN, une avancée majeure pour l'organisation. Cette dernière

contribution notable de Marilou lui a enfin permis de pérenniser sa mission auprès des membres et de faire rayonner ses projets.

Grande communicatrice et pédagogue, elle a donné de nombreuses formations et conférences, siégé à divers comités et rédigé plusieurs mémoires. Toujours généreuse de son temps, Marilou s'est également engagée bénévolement au sein d'autres initiatives comme sa participation au Comité de conservation de l'organisme Ruisseau Jackson, dans les Laurentides. Tout ceci aura sans aucun doute positionné avantageusement la conservation volontaire, faisant avancer ce modèle au Québec.

Grâce à son énergie, à sa personnalité pétillante et lumineuse, Marilou était une inspiration pour tous ceux et toutes celles qui l'ont croisée. Par sa bienveillance, elle est devenue bien plus qu'une collègue : c'était une amie du quotidien pour plusieurs d'entre nous.

De plus, au cours des 6 dernières années, elle a mis au monde 3 merveilleux enfants qui, dès qu'ils ont pu ramper, se sont sentis à l'aise aussi bien dans le fond d'une tente qu'autour d'un trou d'eau à observer les « bibittes ». Floriane, Clermont et Violette constituent la relève et, à travers les valeurs qu'elle leur a inculquées, vont perpétuer son amour pour la nature.

Marilou,

Ce prix Gens d'action 2022, qui t'est décerné à titre posthume par la Société Provancher et la Fondation de la faune du Québec, vient couronner une carrière qui, bien que trop courte, fut merveilleusement riche et marquante pour celles et ceux qui ont eu le privilège de te côtoyer. En tant que collaborateurs, collaboratrices et surtout ami(e)s, les auteurs de ce texte se joignent à l'ensemble des acteurs de la conservation volontaire pour te dire : Merci !

Selon ses dernières volontés et fidèle à elle-même, Marilou a souhaité protéger à perpétuité un milieu naturel dans Lanaudière¹. Marilou, ta mémoire sera honorée et nous avons hâte de pouvoir visiter ce lieu qui aura une signification bien spéciale pour nous. ◀

Publications

- BOURDAGES, M., 2009. Le bilan floristique historique de l'île Bonaventure : 1967-2008. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec. 50 p. Disponible en ligne à : <https://corpus.ulaval.ca/entities/publication/84330ed3-77ea-4c02-9912-7938d8c333ce>.
- BOURDAGES, M., 2011. Plant introduction and extirpation in a small island park: Natural and anthropogenic rates. *Écoscience*, 18(2) : 89-97. <https://doi.org/10.2980/18-2-3388>.
- LAVOIE, C., A. SAINT-LOUIS, M. BOURDAGES, M.-C. LEBLANC et G. MEUNIER, 2009. Les petits parcs protègent-ils leur flore ? *Le Naturaliste canadien*, 133(3) : p. 52-66.
- NATURE QUÉBEC ET RÉSEAU DE MILIEUX NATURELS PROTÉGÉS, 2021. Mémoire sur la stratégie nationale d'urbanisme et d'aménagement des territoires. 29 p.
- RÉSEAU DE MILIEUX NATURELS PROTÉGÉS, 2016. Consultations sur le projet de ligne d'interconnexion Québec New-Hampshire. 6 p.
- RÉSEAU DE MILIEUX NATURELS PROTÉGÉS, 2015. Consultations particulières et auditions publiques sur le livre vert intitulé : « Moderniser le régime d'autorisation environnementale de la *Loi sur la qualité de l'environnement* ». 12 p.

1. La collecte de fonds se poursuit pour ce projet, réalisé en collaboration avec la Fiducie de conservation des écosystèmes de Lanaudière (FCEL). Pour y contribuer, contactez [Michel Leboeuf](#), directeur général de la FCEL, ou [Jean-Philippe Renaut](#), organisateur du projet.



Marilou Bourdages en compagnie de Caroline Cormier, présidente du RMN à l'époque, devant l'Assemblée nationale, pour la commission sur la révision de la *Loi sur la qualité de l'environnement*.

Robert Patenaude (1947-2021): pionnier et mentor de la médecine vétérinaire zoologique et de la faune

Guy Fitzgerald

« Je vais être bien honnête avec toi... » Combien de conversations avec Robert Patenaude ont débuté avec cette phrase qu'il chérissait! Eh oui, on ne pouvait pas trouver plus honnête que Robert (Bob) Patenaude. En homme simple, humble, réfléchi et compétent, il aura été une source d'inspiration pour plusieurs d'entre nous.

Un pionnier de la médecine de zoo

Originaire d'Edmonton, en Alberta, Robert Patenaude s'installe à Québec avec sa famille alors qu'il a environ 16 ans. Il obtient son baccalauréat en sciences biologiques de l'Université Laval en 1968. Puis, il oriente ses études vers la médecine vétérinaire à l'Université de Montréal. Il envisage de soigner des chevaux, mais un emploi d'été le mène ailleurs: en 1972, tout juste après sa collation des grades, il obtient le poste de médecin vétérinaire au Jardin zoologique du Québec et à l'Aquarium du Québec. Il choisit alors de ne pas poursuivre d'études graduées en anesthésiologie et de saisir cette occasion d'être vétérinaire de zoo. Il devient ainsi le premier vétérinaire à œuvrer à temps plein pour une institution zoologique au Québec.

Il est très dévoué à ses patients. Il développe une relation particulière avec les chimpanzés qui ont été longtemps une richesse du zoo. Il occupe ce poste jusqu'à la fermeture définitive du Jardin zoologique du Québec en 2006. Pendant toute sa carrière, il aura contribué à l'amélioration de la qualité de la garde des animaux en institutions zoologiques.

Un pionnier de la médecine de la faune

À cette époque, le zoo et l'aquarium de Québec sont gérés par le ministère provincial responsable de la faune. D' Patenaude devient le premier vétérinaire engagé par un gouvernement provincial dans tout le Canada. Cette fonction lui donne l'occasion de travailler avec une variété d'espèces sauvages: l'orignal, le caribou, le bœuf musqué, l'ours noir, l'ours blanc, le loup gris et probablement bien d'autres. Bob a un faible pour les ruminants sauvages, en particulier, le bœuf musqué, espèce avec laquelle il travaille de 1978 à 1985 dans le Nord-du-Québec, dans le cadre du projet Muskox, à Kuujuaq.

Il donne une multitude de formations aux biologistes et aux agents de protection de la faune, entre autres, pour les techniques d'immobilisation. De 2006 à 2011, il termine sa carrière comme conseiller scientifique au ministère de la Faune, avant de prendre une retraite bien méritée.



Photo : Daniel Pinard

Remise en liberté d'un épervier de Cooper juvénile réhabilité à Chouette à voir!, le site naturel de l'UQROP à Saint-Jude en Montérégie. Un geste symbolique pour souligner les nombreuses années de bénévolat de Robert Patenaude pour cet organisme.

Jean Huot, professeur retraité de l'Université Laval, témoigne:

Robert, Bob comme on l'appelait tous, était un aidant et un facilitant naturel doté d'une incroyable somme de connaissances qu'il aimait partager en toute simplicité. Dans ma carrière, j'ai dû souvent avoir recours à ses connaissances et à ses talents pour capturer de grands mammifères (cerfs, orignaux, cariboux, ours...) pour nos études. Il était toujours disponible pour prodiguer des conseils, aider pour l'acquisition des tranquillisants nécessaires, former notre personnel de terrain. Il n'y avait pas de problème, tout était simple « avec cette nouvelle formule » comme il le disait. C'était un collègue comme on rêve d'en avoir... mais on n'en rencontre pas souvent dans une carrière.

Un mentor pour la relève vétérinaire

Côtoyer toutes ces espèces frappe l'imaginaire... certaines personnes s'amusaient à surnommer Robert « Daktari ». Pas étonnant qu'il ait inspiré tant de jeunes vétérinaires. Il a été

Guy Fitzgerald est clinicien enseignant au Service de médecine zoologique de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal et président fondateur de l'Union québécoise de réhabilitation des oiseaux de proie.

guy.fitzgerald@umontreal.ca

le mentor de plusieurs personnes qui ont consacré leur carrière à la médecine zoologique au sens large (faune, zoo et animaux exotiques). Il a été plusieurs fois conférencier invité à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal. Il était généreux de son temps avec les étudiants.

Dans une entrevue pour *Le Veterinarius* (Bilodeau, 2006), il répondait : « Je suis très content quand je vois que des jeunes que j'ai connus font maintenant des présentations lors de congrès et passent l'examen d'agrément (*board*) de la médecine zoologique. Le fait d'avoir initié ces jeunes à la médecine zoologique et de constater qu'ils ont décidé de poursuivre me fait également chaud au cœur. »

Le bien-être des animaux et des humains

Pour Robert, le bien-être des animaux était très important, mais celui des humains aussi. Il aimait entrer en relation avec les gens, qu'il s'agisse d'animaliers ou de sommités dans leur domaine. Il entretenait un réseau humain impressionnant. Son approche interdisciplinaire l'amenait à se faire aider par un chirurgien-dentiste pour un traitement de canal sur un primate, ou encore, par un radiologiste pour faire un tomodensitogramme (*CT scan*) sur un grand félin dans un hôpital pour les humains.

Un professionnel impliqué

Bob participe à plusieurs comités de l'Ordre des médecins vétérinaires du Québec. Il s'implique dans divers regroupements zoologiques. Il est cofondateur de l'Association canadienne de vétérinaires de zoo et de la faune (CAZVW). Tout au long de sa carrière, il est membre actif de l'Association canadienne des médecins vétérinaires (ACMV), de l'American Association of Zoo Veterinarians (AAZV), de l'American Association of Wildlife Veterinarians (AAWV), d'Aquariums et zoos accrédités du Canada (AZAC) et de la Wildlife Disease Association (WDA). Il est d'ailleurs l'organisateur local de la 60^e Conférence annuelle internationale de la Wildlife Disease Association à Québec en 2011. Finalement, il s'implique à plusieurs reprises dans différents comités d'évaluation du bien-être animal en recherche au Conseil canadien de protection des animaux (CCPA).

Il est membre du conseil d'administration (CA) de la Société Provancher de 2012 à son décès, y compris deux années comme président, de 2015 à 2016. Pour citer un membre du CA, « Bob intervenait avec peu de mots, mais toujours très pertinents, nous rappelant aussi nos valeurs fondamentales. Il nous manque ».

Fait peu connu, Robert Patenaude est également cofondateur de l'Union québécoise de réhabilitation des oiseaux de proie (UQROP) en 1987. Il fait partie du conseil d'administration de cet organisme jusqu'en 2007. Ce réseau provincial vient combler un besoin, car le Jardin zoologique du Québec ne peut accueillir tous les oiseaux de proie blessés, qui, rappelons-le, sont au Québec à déclaration obligatoire aux agents de protection de la faune.

La famille avant tout

Malgré toutes ses occupations, Robert met sa famille au premier plan. Son épouse et complice de vie, Anne Parrot, est



Photo: Guy Fitzgerald

Robert et sa compagne de vie, Anne Parrot, lors d'un souper-bénéfice de l'UQROP.

tout aussi passionnée des animaux et de la nature. Ses enfants, Anne-Marie et Philippe, sont tout aussi fiers de leur père que celui-ci l'est d'eux. Travailler avec des animaux fantastiques amène son lot d'anecdotes à raconter à l'école et aux amis.

Robert Patenaude nous a quittés le 1^{er} novembre 2021. Mais, Bob, tu resteras vivant dans le cœur des gens qui t'ont connu et aimé. Plusieurs médecins vétérinaires ont été inspirés par toi et marcheront dans les sentiers que tu as battus. ◀

Reconnaitances

- 2014** Emeritus Award, Wildlife Disease Association
- 2012** Trophée harfang des neiges de la conservation, reconnaissance de l'Union québécoise de réhabilitation des oiseaux de proie (UQROP) pour sa contribution exceptionnelle à la conservation des oiseaux de proie au Québec
- 2006** Médaille de Saint-Éloi, la plus haute distinction décernée par l'Ordre des médecins vétérinaires du Québec

Références

- BILODEAU, M., 2006. Entrevue avec le D^r Robert Patenaude, médaillé de Saint-Éloi 2006. *Le Veterinarius* (Ordre des médecins vétérinaires du Québec), 22 (6) : 19-20.
- BRUNONI, H., 1993. Le D^r Robert Patenaude, un des fondateurs de l'UQROP. *L'ENVOL*, bulletin de l'Union québécoise de réhabilitation des oiseaux de proie, 4 (2) : 10.
- PROULX, C., 2006. D^r Robert Patenaude : pionnier du domaine de la médecine zoologique et des animaux de la faune... et décoré de la médaille de Saint-Éloi. *Le Veterinarius* (Ordre des médecins vétérinaires du Québec), 22 (6) : 11.
- FISCHER-ALBERT, L., 2015. Profile of a member, Bob the good vet. *Literary and Historical Society of Quebec (LHSQ), Society Pages*, n^o 44 (printemps 2015) : 2-3.
- FITZGERALD, G., 2021. D^r Robert Patenaude, un pionnier de la médecine vétérinaire de la faune et un mentor, nous a quittés. *L'ENVOL*, bulletin de l'Union québécoise de réhabilitation des oiseaux de proie, 31 (2) : 16.
- SOCIÉTÉ PROVANCHER, 2021. Robert Patenaude, membre du conseil d'administration, nous a quittés. Infolettre, novembre 2021.

Luc Bouthillier (1954-2022) : pionnier de la foresterie sociale québécoise

Robert Beauregard

Le 14 juillet 2022, Luc Bouthillier nous quittait, trop jeune, à 67 ans. Il aura été un grand forestier, un professeur et un communicateur hors du commun. Il a surtout été le père de la foresterie sociale au Québec.

Dans son hommage, au moment de son décès, l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, par la voix de son président François Laliberté¹ associe Luc Bouthillier à la phrase suivante : « On ne fait pas de la foresterie pour les arbres, mais pour les humains ». Cette phrase avait été énoncée pour la première fois en 1967 par Jack Westoby², premier chef forestier de la FAO aux Nations Unies ; elle est considérée comme la première référence internationale au concept de foresterie sociale.

En effet, l'action et la pensée de Luc en foresterie sociale trouvent possiblement leurs origines dans une rencontre déterminante avec Marcel Lortie, chercheur en pathologie forestière ayant aussi travaillé au gouvernement fédéral, jusqu'à devenir sous-ministre aux Affaires indiennes et du Nord. D'une personnalité engageante et hyperactive, Marcel Lortie agira aussi comme conseiller aux politiques forestières et aux enjeux socio-économiques de la foresterie, et en viendra à créer et à offrir un cours de « Problématique forestière » à la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval (FFG). C'est là que Luc le rencontre.

Marcel Lortie explique à Luc que, s'il veut contribuer à changer le monde forestier, une bonne façon est de devenir professeur à l'Université Laval. Il lui fait le discours, comme il me l'a fait à moi quelques années plus tard, à savoir que « si c'était à refaire », il n'irait pas faire une carrière dans la bureaucratie fédérale, mais qu'il resterait dans l'enseignement universitaire, là où l'on a l'occasion d'éduquer et de former des générations de futurs forestiers.

Marcel accompagne Luc à travers la maîtrise et le doctorat. Le mémoire de maîtrise, intitulé *Les relations Canada – Québec en développement forestier*, porte sur un sujet chaud

1. OIFQ, 2022. [Décès de l'ingénieur forestier Luc Bouthillier : l'Ordre des ingénieurs forestiers salue la carrière d'un grand forestier](#). Communiqué de presse, OIFQ, 15 juillet 2022.
2. Leslie, A.J., 1987. Foreword. Dans : Westoby, J. *The purpose of forests: Follies of development*. Basil Blackwell, Oxford, p. vii-xiii.



Photo : Martine Lapointe

à l'époque puisque le gouvernement fédéral tente d'influencer les politiques provinciales en développement forestier, domaine de compétence provinciale, à travers des ententes fédérales-provinciales permettant des investissements majeurs en sylviculture et en développement industriel. Marcel Lortie, par ses fonctions à Ressources naturelles Canada, est étroitement associé à ces ententes. Au terme de la maîtrise, Luc est convaincu de la valeur d'être « économiste forestier » pour comprendre et influencer ces enjeux.

Son projet doctoral porte sur *Le concept de rendement soutenu dans le contexte nord-américain*. De coloration nettement plus « politique forestière », ce projet porte sur l'analyse critique et historique des régimes forestiers québécois,

à travers le concept de rendement soutenu. Il trace un véritable panorama historique des politiques et régimes forestiers québécois, canadiens et américains. En 1989, Marcel Lortie, depuis peu doyen par intérim de la FFG, décède d'une hémorragie cérébrale massive. Son décès tragique, dans la jeune soixantaine, laisse le monde forestier stupéfait. Marius Pineau accepte de prendre en relève la direction de thèse de Luc Bouthillier et de mener le projet à terme. Dès 1990, la FFG engage Luc Bouthillier comme professeur-assistant ; il sera titularisé en 2003.

La contribution en recherche de Luc Bouthillier est aussi vaste que significative. Il s'est intéressé à un très large spectre des sciences humaines et sociales en foresterie. Il creuse un profond sillon de connaissances en économie et en politique forestières, de même que sur le rôle de la forêt pour le développement socio-économique des communautés qui en dépendent. Il scrute divers aspects des politiques publiques en forêt, étudiant notamment les systèmes d'évaluation de la valeur des ressources

Robert Beauregard est professeur titulaire au Département des sciences du bois et de la forêt de l'Université Laval. De 2007 à 2016, il a été doyen de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique puis, de 2017 à 2022, vice-recteur aux études et aux affaires étudiantes et vice-recteur exécutif de la même université.

robert.beauregard@sbf.ulaval.ca

forestières, en particulier les systèmes d'enchères. Il s'intéresse aux programmes d'investissements publics en forêt privée; aux mécanismes de consultation et de concertation, analysant, entre autres, les processus associés aux tables de gestion intégrée du territoire.

Le domaine de l'évaluation environnementale figure parmi ses champs d'intérêt de prédilection. Dans ce domaine, il étudie extensivement les divers systèmes de certification de l'aménagement forestier durable. Il les considère sous l'angle d'une formule de gouvernance participative de l'aménagement des forêts publiques. Il s'intéresse au sort réservé aux travailleurs du secteur forestier et s'associe notamment à une étude des conditions de travail des débroussailliers. À l'époque où l'industrie forestière rencontre des difficultés économiques majeures, il participe à une étude des droits des travailleurs dont les régimes de retraite sont soumis à une restructuration après la mise de leur employeur sous la protection de la loi sur la faillite.

Un concept traverse toute sa vie de chercheur : celui de la foresterie communautaire. Il l'explore à travers des projets pilotes de forêts communautaires, de métairies, de forêts habitées. Il y voit, pour les communautés des régions forestières, un puissant levier au service d'un développement par lequel elles seraient premières artisanes de leur destin.

Dans ce même esprit, il collabore avec des communautés et nations autochtones pour explorer des formules qui pourraient leur permettre d'exercer leurs activités traditionnelles, de perpétuer leur rapport au territoire, tout en s'associant à des acteurs du secteur forestier, pour utiliser l'aménagement durable des forêts comme outil de développement socio-économique autocentré. Au fil des ans, il collaborera notamment avec les nations atikamekw, cri, innue et m'kmaq. Son humanité a laissé des traces profondes parmi les communautés avec lesquelles il s'engage. Par exemple, Luc Lebel, professeur à la FFG, rapporte³ qu'un aîné innu de la Côte-Nord, après l'avoir hébergé dans sa maison lors d'un séjour dans sa communauté, disait de lui qu'il était un « esprit bon ».

Adeptes de la recherche-action, il a sillonné le territoire du Québec pour échanger, collaborer, discuter, collecter des données avec ses étudiantes et étudiants des cycles supérieurs, qui ont par la suite essaimé vers divers domaines de la pratique forestière, sociale ou économique, mais aussi vers le monde de l'enseignement ou de la recherche au Service canadien des forêts, à l'Université de Moncton, à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et bien sûr, à l'Université Laval (UL).

Luc Bouthillier est un professeur engagé et engageant, un enseignant passionné et passionnant. Il enseignera pendant plus de trois décennies. Son champ d'enseignement est aussi étendu que celui de sa recherche : politique, économie, législation, éthique forestière, évaluation environnementale, problématique forestière et aspects socio-économiques de l'aménagement durable des forêts. Régulièrement, dans ses cours, il invite des acteurs du milieu forestier, afin qu'ils

exposent leur point de vue et leur expérience à propos des enjeux de la gestion de la forêt québécoise et du développement des diverses communautés.

Sa contribution à un microprogramme en aménagement écosystémique sera l'occasion pour Luc de s'initier à la pratique de la formation à distance. La formule ne l'enthousiasme pas de prime abord, étant donné sa passion pour les relations avec les étudiants. Cela étant, il réussit avec ses collègues à développer des moyens interactifs de formation en environnement numérique, qui font que les étudiants en viennent à former des communautés de pratique sans ne s'être jamais rencontrés en personne. La pandémie de ces dernières années nous montrera à quel point la formation à distance allait s'avérer d'une importance cruciale.

Outre l'enseignement, il assurera un appui indéfectible aux initiatives étudiantes, notamment à la Semaine des sciences forestières, pour laquelle il détient sans doute le record du plus grand nombre d'années d'animation au colloque étudiant. Il sera également le *recordman* du plus grand nombre de discours aux cérémonies de remise du jonc de l'Institut forestier du Canada aux finissants et finissantes des programmes de foresterie de l'UL, en partenariat avec l'OIFQ. Il aura beaucoup aimé les étudiants et ceux-ci le lui ont bien rendu.

Sa contribution au service à la collectivité, hors de l'université, est sans doute celle pour laquelle il est le plus connu et reconnu. En 1991, au début de sa carrière de professeur, il participe à titre de commissaire du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement à la stratégie de protection des forêts. On se souviendra qu'à la suite de ces audiences, le gouvernement du Québec procédera au bannissement de l'utilisation des pesticides chimiques en forêt publique.

Tout au long de son parcours, Luc a été des plus disponibles pour commenter l'actualité forestière dans les médias québécois et canadiens. Pendant des décennies, il figure parmi les 2 ou 3 professeurs de l'Université Laval cumulant le plus grand nombre d'interventions médiatiques. Ses observations et commentaires suscitent parfois des réactions de certains lobbies. Il m'est arrivé, à titre de doyen, de devoir défendre sa liberté d'expression vis-à-vis de certains détenteurs d'intérêts qui trouvaient sa parole dérangeante, ce que j'ai fait avec le plus grand des plaisirs. L'équipe de *La Semaine verte* de Radio-Canada soulignait, au moment de son décès, la contribution de Luc Bouthillier aux débats publics forestiers durant plusieurs décennies. Quelques jours à peine avant son décès, on pouvait l'entendre ou le lire, commenter l'achat de Produits forestiers Résolu par Paper Excellence. Dans ce sens, il aura exercé, tout comme Serge Bouchard, son complice, le métier qui le passionnait jusqu'à son dernier souffle. Sa préoccupation constante, dans ses interventions, était de donner au public québécois un point de vue indépendant, équilibré et informé, sur les enjeux et les préoccupations liés à la gestion de la forêt québécoise, dans une perspective de bien commun.

À mon sens, Luc Bouthillier incarne parfaitement l'idéal du professeur d'université, dans ces 3 composantes que sont l'enseignement, la recherche et le service à la collectivité,

3. Larin, V., 2022. [Le professeur Luc Bouthillier n'est plus](#). La Presse, 14 juillet 2022.



Photo : Martine Lapointe

toujours centré sur la mission de formation et un amour indéfectible des communautés.

Cet été, dans un hommage posthume paru dans *Le Devoir*, Geneviève Brisson et Nathalie Lewis⁴, respectivement anthropologue et sociologue de l'environnement à l'UQAR, le désigneront comme « Le précurseur de la forêt habitée ». Elles disent de lui :

À une époque — pas si lointaine — où réfléchir sur la forêt et la foresterie en termes sociaux était rarissime de ce côté de l'Atlantique, il faisait non seulement figure de pionnier, mais de géant déplaçant des montagnes, sans cris ni poings levés. Force tranquille des sciences sociales de la forêt, il n'avait pourtant pas fait ses classes dans ce domaine. Mais ses valeurs tout autant qu'un constat que "les choses ne tournent pas rond" l'ont poussé à s'investir, corps et âme, pour une foresterie sociale au Québec. Sans préjugés ni idée préconçue que l'expert doit montrer la voie!

Luc, je suis privilégié d'avoir eu de la vie le cadeau de te connaître et de te côtoyer au cours des 40 et quelques dernières années. J'ai bien aimé ton regard critique sur le monde forestier, qui s'exprimait toujours du point de vue du bien commun. Ils ne sont pas si nombreux, ceux qui peuvent prétendre s'exprimer ainsi. Tu es indéniablement une de ces rares personnes. Tu l'as fait, avec constance, humanisme, souvent avec humour, toujours avec une immense empathie pour les gens et les communautés qui trop souvent n'ont pas voix au chapitre. Cette action constante a fait de toi un grand professeur et un citoyen d'impact. Tu occupes une place importante dans ma vie, et je garderai toujours le souvenir de nos discussions sur nos dernières découvertes littéraires. Tu vivras toujours dans nos pensées.

4. Brisson, G. et N. Lewis, 2022. Luc Bouthillier, précurseur de « la forêt habitée ». *Le Devoir*, 18 juillet 2022.

Le bestiaire innu 2. Les oiseaux, les poissons et les animaux non comestibles

Ce livre est une belle occasion de plonger dans les connaissances, la langue, la culture et la pensée des Innus relativement à la faune. Ce deuxième opus de Daniel Clément porte sur 38 espèces (ou groupes d'espèces) associées aux oiseaux, aux animaux aquatiques (principalement des poissons) et aux animaux non comestibles (surtout des arthropodes). Il poursuit sur la lancée du travail d'analyse amorcé dans le volume 1, qui portait alors sur les animaux quadrupèdes.

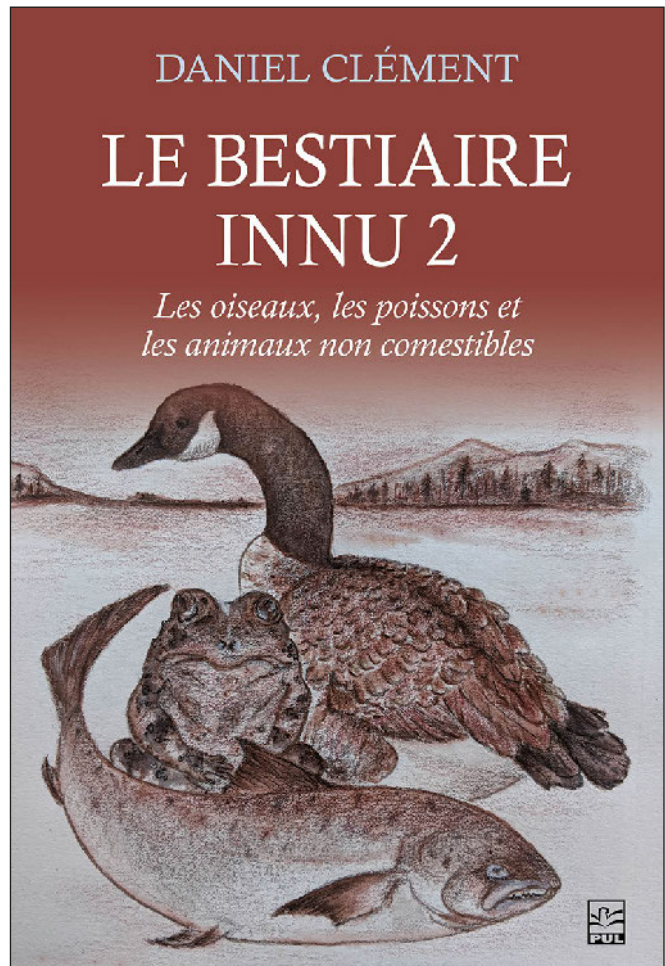
À mon avis, cet ouvrage est particulièrement intéressant parce qu'il propose une analyse rigoureuse et approfondie, dont la variété des chapitres aborde un spectre élargi de la diversité, ce qui permet d'apprécier la finesse et toute l'étendue des connaissances zoologiques des Innus. D'ailleurs, Daniel Clément déboulonne au passage l'idée véhiculée, à une certaine époque, d'une connaissance limitée des Innus concernant la biodiversité de leur territoire. À preuve, on parle dans ce livre du mergule nain, des goélands, de l'anguille d'Amérique, des couleuvres, des fourmis, des araignées et même du pou.

Attention, il ne s'agit pas ici d'une lecture de divertissement, mais plutôt d'une référence ethnologique. D'ailleurs, comme le décrit lui-même l'auteur, ce livre « n'est pas fait pour être lu en continu », mais plutôt consulté à la manière d'une encyclopédie en fonction des intérêts du lecteur. Ainsi, pour chaque espèce, l'information y est regroupée sous quatre rubriques formelles, soit la nomenclature et la classification; la description physique, les modes de déplacement et les sens; les mœurs; et la reproduction. Chaque compte rendu d'espèce est le résultat d'un exercice minutieux de classement de l'information et d'analyse dont le tout est abondamment référencé. De plus, les nomenclatures en français et en innu sont appuyées par l'utilisation des noms scientifiques en latin, ce qui aide à la compréhension. Finalement, de nombreux liens sont établis avec des auteurs allochtones qui ont soit parcouru le Nitassinan¹ ou en ont étudié sa faune.

Personnellement, j'ai beaucoup aimé lire le texte sur *Kâpinînau* ou *Uishkatshân*, le mésangeai du Canada (*Perisoreus canadensis*); un animal « majeur du panthéon animal » des Innus selon Clément. À travers différentes sources, récits et mythes, l'auteur propose des fondements biologiques, issus des connaissances zoologiques des Innus, pour mieux comprendre la représentativité culturelle de l'espèce. Par exemple, les liens entre la posture de l'oiseau et son nom en innu ou encore les caractéristiques de son nid pour expliquer pourquoi le mésangeai est associé à la naissance des enfants. Une lecture qui sans aucun doute m'a apporté une perspective nouvelle sur cet oiseau emblématique de la forêt boréale et qui propose au passage une alternative nord-américaine au mythe occidental « emprunté » chez nous de la cigogne; un oiseau proprement européen.

Enfin, il est pertinent de mentionner que l'auteur de ce livre est une autorité comme en font foi ses nombreuses publications concernant les autochtones et son travail antérieur comme conservateur en ethnologie au Musée canadien des civilisations et comme directeur de recherche au Centre national de la recherche

1. Territoire ancestral du peuple innu, situé dans l'est du Canada, au Québec et au Labrador.



scientifique. Toutefois, à mon avis, c'est véritablement l'appui en préface de Jean-Charles Piétacho, chef innu de la communauté d'Ekuanitchit, qui établit concrètement l'acceptabilité de l'ouvrage, sa valeur et sa pertinence. Ainsi, on y apprend que Daniel Clément a vécu pendant de longues périodes avec les Innus, « bénéficiant de la contribution de plusieurs des aînés maintenant disparus, tout en parcourant le territoire » avec les gens des communautés qui l'ont accueilli, « forgeant ainsi son expérience du contexte innu ». Plus important encore, M. Piétacho souligne que « de nos jours, alors que la sédentarisation et la scolarisation dans le contexte des pensionnats ont privé bon nombre de nos jeunes du bénéfice d'une forme de transmission plus traditionnelle des savoirs par le biais des parents ou des aînés, dans le contexte des longs séjours sur le territoire, cet ouvrage offre une forme de sauvegarde pour les générations futures ». Une contribution qu'il juge « exceptionnelle » à cet égard.

CLÉMENT, Daniel, 2021. *Le bestiaire innu 2. Les oiseaux, les poissons et les animaux non comestibles*. Presses de l'Université Laval, Québec, 631 p. Disponible en format papier et en version PDF. Prix de vente: 50 \$.

Source: Bruno Drolet

40 autres plantes envahissantes : protéger la nature aujourd'hui et demain

Après *50 plantes envahissantes : protéger la nature et l'agriculture*, le biologiste Claude Lavoie, professeur à l'Université Laval, publie un second ouvrage sur le thème des espèces envahissantes au Québec. Le titre informe bien le lecteur de l'angle d'approche adopté cette fois-ci : certes, la nature d'aujourd'hui est une préoccupation au centre de nombreux articles, mais c'est la référence à la nature de demain qui donne sa couleur propre au livre.

Souvent, le travail visant à contrer les espèces exotiques envahissantes commence en réaction à un problème d'envahissement déjà bien présent et visible. Or, lorsque les espèces envahissantes sont déjà bien implantées, la lutte est beaucoup plus ardue. L'un des principaux défis associés au travail en prévention est donc de déterminer quelles espèces surveiller parce qu'elles risquent de causer préjudice à la nature de demain, étant donné que la problématique associée à leur présence n'est pas toujours visible dans la nature. Ainsi, ce nouvel ouvrage présente 40 autres plantes que l'on trouve au Québec et qui possèdent un potentiel faible, moyen ou élevé de devenir envahissantes à court ou à moyen terme. Le processus derrière l'évaluation du risque d'envahissement de ces nouvelles plantes est rigoureux, solidement appuyé par des références scientifiques et bien présenté, ce qui permet au lecteur de poser un regard critique sur chaque cas.

Il n'est pas toujours évident de travailler à prévenir une situation problématique avant que celle-ci ne soit visible sur le terrain. Pourtant, c'est parfois la clé pour empêcher certaines espèces exotiques et envahissantes de s'établir. Cet ouvrage est donc un premier pas important en ce sens. L'information contenue dans les fiches décrivant les 40 espèces de plantes permet de bien les identifier, d'anticiper l'impact qu'elles pourraient avoir et de cibler les milieux susceptibles d'être touchés. L'ouvrage décrit aussi les différentes méthodes possibles de lutte ainsi qu'une évaluation du risque que chaque espèce représente pour l'environnement et la société dans l'est du Canada. Ce bel outil de sensibilisation pourra être utile autant pour les horticulteurs amateurs que pour les producteurs chevronnés, les agronomes, les biologistes ainsi que les gestionnaires de l'environnement.

La section *Une autre perspective* amène une toute nouvelle façon de voir ces plantes exotiques et envahissantes qui portent



souvent une connotation négative. Par exemple, l'érable de l'Amour (*Acer ginnala*) possède un risque faible à modéré pour les écosystèmes de l'est du Canada et est encore peu présent au Québec. Cependant, les feuilles et les bourgeons de cet érable sont utilisés en Chine pour faire un thé très apprécié — comme quoi ces plantes à caractère négatif peuvent tout de même posséder un côté utile et agréable!

LAVOIE, Claude, 2022. *40 autres plantes envahissantes : protéger la nature aujourd'hui et demain*. Les Publications du Québec, 348 p. Disponible en format papier, en format ePUB ou en format PDF. 34,95 \$.

Source : Amélie Picard

Attirer les oiseaux chez soi

La règle est pratiquement universelle : il ne faut pas nourrir les animaux sauvages. La plupart des municipalités du Québec, les parcs nationaux du Québec et les parcs nationaux du Canada l'interdisent formellement et imposent même des amendes substantielles — jusqu'à 1 000 \$ à Montréal — aux personnes qui ne parviennent pas à réprimer l'élan qui les pousse à nourrir les animaux pour s'en approcher et pour connecter avec eux. Curieusement, il existe une exception à cette règle : sous certaines conditions, il est permis de nourrir les oiseaux dans sa cour.

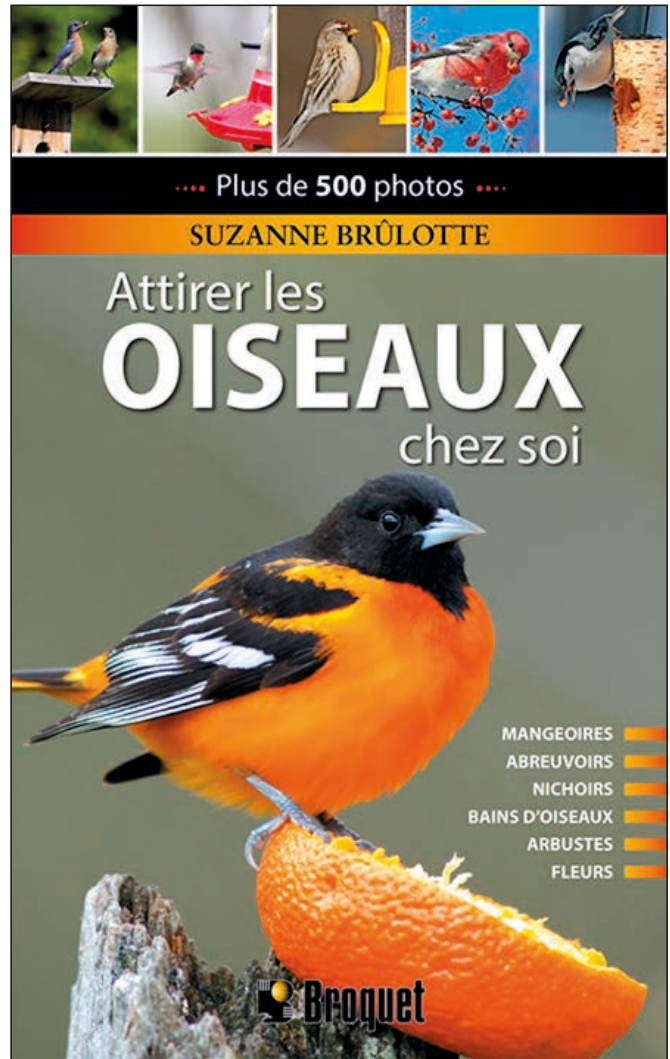
Cette exception fait le bonheur de plusieurs : plus de 25 % des ménages canadiens ont des mangeoires pour oiseaux dans leur jardin. C'est à eux, ainsi qu'aux personnes qui veulent s'initier à ce loisir, qu'est destiné *Attirer les oiseaux chez soi*, de la photographe animalière et observatrice chevronnée Suzanne Brûlotte. Les Éditions Broquet viennent de lancer une nouvelle édition de ce livre d'abord paru en 2003.

Cet ouvrage pratique réunit les connaissances que devrait posséder toute personne qui souhaite installer des mangeoires dans son jardin. On y trouve également des informations sur les abreuvoirs, les nichoirs et les bains d'oiseaux. L'intérêt du livre ne réside pas dans ces sections dont le contenu ne se démarque pas substantiellement de ce qu'on peut trouver sur Internet. Il se situe plutôt dans la quarantaine de pages que l'auteure consacre à l'aménagement paysager du jardin. Les lecteurs y apprendront quelles espèces de fleurs, d'arbustes et d'arbres choisir pour aménager une cour offrant nourriture et abri à la faune ailée.

Attirer les oiseaux chez soi comprend plus de 500 photos dont l'intérêt est surtout documentaire. Les petites dimensions de la quasi-totalité de ces images ne leur rendent pas justice et privent le lecteur de l'habituel plaisir que procure la consultation des ouvrages sur les oiseaux.

BRÛLOTTE, Suzanne, 2022. *Attirer les oiseaux chez soi*. Éditions Broquet, Saint-Constant, Québec, 296 p. Prix de vente suggéré : 29,95 \$.

Source : Jean Hamann



EN ACTION

POUR LA FAUNE EN DANGER



Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, des pêcheurs et des piégeurs, la Fondation de la faune soutient des projets de protection et de restauration d'habitats des espèces menacées et vulnérables du Québec.



Fondation
de la faune
du Québec

› **Faites un don:** www.fondationdelafaune.qc.ca




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

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