

RAPPORT PRÉLIMINAIRE

ÉVALUATION DE LA CONNECTIVITÉ ÉCOLOGIQUE ET DE LA RÉSILIENCE DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS SUR LE TERRITOIRE DU PARC NATIONAL DE LA MAURICIE

Par

habitat

LA NATURE À L'ŒUVRE

Pour



Parks
Canada

Parcs
Canada

MARS

2022



HABITAT

Habitat est une entreprise de solutions environnementales fondée en 2017 (d'abord connue sous le nom d'Eco2urb) et basée à Montréal. Elle propose des solutions fondées sur la nature pour alimenter et propulser la transition écologique de ses client·e·s, notamment dans un contexte de relance verte.

Habitat est née d'une mise en commun des expertises de trois laboratoires de pointe dans le domaine des sciences humaines et naturelles. À la tête de l'entreprise, on retrouve les professeurs Dupras, Gonzalez et Messier, tous reconnus à l'échelle internationale dans leurs domaines.

Au cours des quatre dernières années, Habitat a catalysé la transition écologique d'une clientèle diversifiée. L'équipe collabore avec de nombreuses universités, centres de recherche et organisations non gouvernementales afin de faciliter la mise en œuvre de travaux scientifiques reliés à l'écologie, la foresterie et l'aménagement du territoire. Elle propose des approches innovatrices et des stratégies environnementales à la fine pointe de la science.

L'équipe de consultants scientifiques d'Habitat vous encadre dans la gestion durable des écosystèmes, dans la conservation de la biodiversité et dans la prise en compte des services rendus par vos infrastructures naturelles, en appliquant la meilleure science disponible.

Notre mission est d'accélérer votre transition écologique à l'aide de solutions ancrées dans la nature et la science.

Équipe de réalisation

Analyse et rédaction : Kyle T. Martins, M. Sc.
Véronique Dumais-Lalonde, M. Sc.
Sylvia Wood, Ph. D.
Noémie Lacroix, M.Sc.
Caroline Petit, M. Sc.
Olivier Tanguy, M. Sc.
Fanny Maure, Ph. D.

Édition et mise en page : Fanny Maure, Ph. D.
Julie Lebert

Coordination : Véronique Dumais-Lalonde, M. Sc.
Fanny Maure, Ph. D.

Direction scientifique : Andrew Gonzalez, Ph. D.
Christian Messier, Ph. D.

Remerciements

Ce projet a été réalisé avec des données portant sur la connectivité écologique dans les Basses-Terres du Saint-Laurent et grâce à l'appui financier du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Nous remercions la Direction générale de la conservation de la biodiversité, ainsi que Bronwyn Rayfield d'Apex RMS et Guillaume Larocque du Centre de la science de la biodiversité du Québec pour les renseignements portant sur l'étude de connectivité écologique à l'échelle des Basses-terres du Saint-Laurent.

L'équipe d'Habitat tient à remercier Sylvain Giguère, au Service canadien de la faune (Environnement et Changement Climatique Canada), pour les informations relatives à l'habitat des espèces focales, notamment la tortue des bois et le loup de l'Est, et Gabrielle Cauchon Déry pour les données relatives aux sites de conservation importants pour la tortue des bois détenus par Conservation de la Nature Canada et la Société d'Histoire Naturelle de la vallée du Saint-Laurent. Nous souhaitons aussi souligner le soutien de Catherine Fortier, de la Fondation Trois-Rivières durable, ainsi que celui de la Ville de Trois-Rivières dans ce projet, avec le partage de données géographiques des propriétés protégées détenues par Nature-Action Québec.

Citation suggérée :

Habitat (2022). Évaluation de la connectivité écologique sur le territoire du parc national de la Mauricie. Pour Parcs Canada. 60 p. + annexes.

Sommaire exécutif

La présente étude a pour objectif d'évaluer la connectivité écologique du parc national de la Mauricie et d'étudier la résilience des écosystèmes forestiers de ce territoire, c'est-à-dire leur capacité à se rétablir suite à des perturbations, telles que les insectes et pathogènes exotiques, les changements climatiques et leurs interactions (mieux connus sous le terme des changements globaux).

Réalisée à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie, l'analyse de connectivité repose sur un total de cinq espèces fauniques, soit le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre cendrée. Sur la base des indicateurs obtenus, Habitat a réalisé une priorisation spatiale afin d'identifier les corridors de déplacement prioritaires pour la conservation de la connectivité à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.

Le portrait de la résilience des écosystèmes forestiers repose sur le principe que plus une forêt est diversifiée au niveau fonctionnel - c'est-à-dire avec des arbres aux caractéristiques biologiques variées - plus les espèces qui la composent réagiront différemment aux menaces. Autrement dit, une forêt diversifiée aura moins de chance de subir une perte de fonctionnement ou d'intégrité face à un éventail de perturbations. Réalisée à l'échelle du parc national de la Mauricie, l'évaluation de la résilience des forêts inclut i) l'évaluation de la diversité fonctionnelle des peuplements forestiers et ii) l'évaluation de la vulnérabilité des forêts face aux menaces biotiques (insectes et maladies) et abiotiques. Cette analyse a aussi permis d'évaluer la vulnérabilité des corridors prioritaires pour la conservation de la connectivité et ainsi d'identifier les régions d'importance pour la connectivité, mais à haute vulnérabilité.

Plusieurs résultats saillants découlent de ces analyses :

- + Les milieux naturels du Grand écosystème du parc national de la Mauricie sont essentiels au déplacement des espèces fauniques de la région.
- + Plus de 50 % du Grand écosystème du parc national de la Mauricie représente de l'habitat de qualité intermédiaire à élevée pour le loup de l'Est, l'ours noir et la martre d'Amérique, et cette valeur dépasse 70 % du territoire pour la salamandre cendrée.
- + Les habitats de qualité intermédiaire à élevée ne représentent que 10 % du Grand écosystème du parc national de la Mauricie pour la tortue des bois, principalement en raison de sa forte dépendance aux milieux humides et hydriques.
- + Il existe une distinction importante entre les portions nord et sud du Grand écosystème du parc national de la Mauricie, notamment en raison de la concentration plus forte de milieux anthropiques dans le sud, représentant des barrières importantes à la connectivité et aux déplacements nord-sud des espèces étudiées.
- + L'analyse de la connectivité a identifié un réseau écologique plus ou moins intact et robuste dans la section nord du Grand écosystème du parc national de la Mauricie, qui permet de relier le parc national de la Mauricie aux autres aires protégées avoisinantes. Dans le sud, le réseau est fortement fragmenté, voire même inadéquat pour des espèces sensibles à la présence humaine (ex. le loup de l'Est).
- + La spongieuse asiatique, le longicorne asiatique et les sécheresses représentent des menaces ayant des impacts potentiels importants sur les forêts sur le parc national de la Mauricie, et les peuplements dominés ou composés d'érables ressortent particulièrement vulnérables.
- + Les corridors de déplacement prioritaires pour la conservation de la connectivité sont eux aussi fortement vulnérables aux menaces biotiques et abiotiques.

L'étude conclut que le parc national de la Mauricie offre des habitats de haute qualité pour les espèces représentatives de la région et constitue un élément central dans le réseau écologique à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Dans l'optique de conserver ces habitats et ces corridors de déplacement, des actions de conservation et d'aménagement sont à prévoir dans le parc et autour, en impliquant les acteurs régionaux du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Ces actions visent à i) augmenter la résilience des écosystèmes forestiers pour les rendre moins vulnérables aux menaces associées aux changements globaux et ii) renforcer le réseau écologique préexistant et offrir de meilleurs habitats aux espèces fauniques, notamment celles sensibles à la présence humaine. Dans cette optique, l'axe de connectivité nord-sud semble particulièrement important à prioriser afin de réduire les barrières aux déplacements des espèces dans la partie sud du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et ainsi améliorer l'accès aux habitats riches qu'offre le parc national de la Mauricie pour des espèces régionales.

Table des matières

GLOSSAIRE	9
1.INTRODUCTION	11
1.1 Les réseaux d'aires protégées : essentiels pour la résilience face aux menaces liées aux changements globaux	11
1.2 Contexte et objectif de l'étude	12
2.MÉTHODOLOGIE	13
2.1 Historique du parc national de la Mauricie et portée du projet	13
2.2 Aperçu de la méthodologie	17
3.RÉSULTATS	19
3.1 Caractérisation du Grand écosystème du parc national de la Mauricie : un territoire dominé par les forêts et milieux humides	19
3.2 Un paysage perméable et constitué d'habitats convenables aux espèces focales	22
3.2.1 Importantes superficies d'habitats pour le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre cendrée	22
3.2.2 Le déplacement animal est contraint par la présence de milieux anthropiques	26
3.2.3 Différences au niveau des superficies et de la répartition de l'habitat et des espèces focales	26
3.3 Connectivité et déplacement des espèces au sein du territoire	31
3.4 Identification des corridors de déplacement prioritaires par une analyse de priorisation spatiale au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie	36
3.5 Évaluation de la résilience et de la vulnérabilité des forêts du parc national de la Mauricie (volet 3)	38
3.5.1 Contexte écologique des forêts du parc national de la Mauricie	38
3.5.2 Répartition inégale de la diversité des forêts au sein du territoire	40
3.5.3 Vulnérabilités des peuplements forestiers du parc national de la Mauricie	42
3.5.4 Vulnérabilité aux menaces des peuplements matures	49
3.5.5 Peuplements peu diversifiés, vulnérables aux menaces et jouant un rôle important dans la connectivité du territoire	50
3.5.6 Principales recommandations pour améliorer la résilience des peuplements les plus vulnérables du parc national de la Mauricie	51
4.DISCUSSION	53
5.CONCLUSION	55
6.LISTES DES ANNEXES	56
7.BIBLIOGRAPHIE	57

Liste des figures

Figure 1. Localisation du Grand écosystème du parc national de la Mauricie à l'échelle des Basses-Terres du Saint-Laurent.	14
Figure 2. Mise en contexte de la région d'étude.	15
Figure 3. Cartographie des MRC ou municipalités du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.	16
Figure 4. Corridors prioritaires de conservation pour la connectivité à l'échelle des Basses-Terres du Saint-Laurent. Tiré de : Rayfield, B. et Gonzalez, A. (2020).	17
Figure 5. Flux de travail adopté pour l'analyse de connectivité du PNLM à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.	18
Figure 6. Pourcentage de recouvrement des classes d'occupation des sols pour le territoire du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.	21
Figure 7. Cartographie de l'occupation des sols à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.	22
Figure 8. Superficie occupée par les milieux naturels selon la classe de l'indice qualité de l'habitat (IQH) pour les trois espèces focales suivant la répartition de valeurs de Rayfield et al. (2019).	25
Figure 9. Superficie (ha) et proportion du territoire (%) occupées par les parcelles d'habitat pour le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre cendrée.	28
Figure 10. Cartographie de l'indice de qualité de l'habitat, ainsi que de la délimitation des parcelles d'habitat pour le loup de l'Est (A, D), l'ours noir (B, E) et la tortue des bois (C, F).	29
Figure 11. Cartographie de l'indice de qualité de l'habitat, ainsi que de la délimitation des parcelles d'habitat pour la martre d'Amérique (A, C) et la salamandre cendrée (B, D) au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.	30
Figure 12. Cartographie de l'indice de flux du courant, ainsi que la connectivité nœud à nœud pour le loup de l'Est (A, D), l'ours noir (B, E) et la tortue des bois (C, F).	32
Figure 13. Cartographie de l'indice de flux du courant, ainsi que la connectivité nœud à nœud pour la martre d'Amérique (A, C) et la salamandre cendrée (B, D) au sein du Grand écosystème.	34
Figure 14. Carte synthèse de l'analyse de connectivité nœud à nœud superposant les corridors de déplacement pour les cinq espèces.	35
Figure 15. Cartographie des priorités de conservation selon les analyses de l'IQH, le flux du courant, la centralité intermédiaire (présentée en annexe) et la connectivité nœud à nœud.	37
Figure 16. Cartographie des différents types de couvert des peuplements forestiers du parc national de la Mauricie.	39
Figure 17. Cartographie de l'indice de diversité fonctionnelle des peuplements forestiers du parc national de la Mauricie.	41

Figure 18. Répartition des peuplements les plus vulnérables, en fonction de la somme des menaces préoccupantes les affectant à plus de 75 %. 46

Figure 19. Répartition des peuplements forestiers dans le PNLM en fonction de leur niveau de vulnérabilité. 47

Figure 20. Cartes illustrant la répartition des peuplements en fonction de leur vulnérabilité aux menaces abiotiques préoccupantes pour la région. 48

Figure 21. Répartition des peuplements matures (80 ans et plus) peu diversifiés affectés à plus de 75% par des menaces biotiques ou abiotiques préoccupantes pour la région. 49

Figure 22. Répartition des peuplements forestiers les plus vulnérables selon leur niveau de priorité pour la conservation de la connectivité. 50

Liste des tableaux

Tableau 1. Sommaire des superficies (sup.) des milieux naturels, anthropiques, agricoles et protégés du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et des milieux naturels du parc national de la Mauricie. 20

Tableau 2. Synthèse des espèces arboricoles dominantes au sein du parc national de la Mauricie et des surfaces terrières (% ST) qu'elles occupent par type de couvert forestier et pour l'ensemble du parc. 40

Tableau 3. Liste et description des 5 menaces biotiques retenues pour l'analyse de vulnérabilité et des dommages potentiels. 42

Tableau 4. Synthèse des superficies touchées par chacune des menaces biotiques et abiotiques considérées préoccupantes. 45

GLOSSAIRE

Centralité intermédiaire : indicateur utilisé pour mesurer le degré avec lequel une parcelle d'habitat pour une espèce faunique peut servir de lien entre d'autres milieux naturels et/ou parcelles d'habitat au sein du paysage. Plus la mesure de centralité intermédiaire est élevée, plus les parcelles d'habitat sont centrales, et donc importantes, dans le réseau de l'espèce étudiée.

Connectivité écologique : notion qui fait référence à la capacité de déplacement des espèces fauniques à l'intérieur de leur aire de répartition. Un paysage caractérisé par une connectivité écologique élevée favorise le déplacement des espèces.

Corridor de déplacement : zone de passage utilisée par la faune et la flore et qui relie différents milieux naturels.

Diversité fonctionnelle : diversité au niveau des traits fonctionnels (ou caractéristiques biologiques) des espèces recensées sur un territoire donné.

Flux du courant : indicateur de la connectivité utilisé pour évaluer le potentiel de mouvement d'une espèce faunique à travers le territoire selon un modèle de circuit électrique.

Menace abiotique : menace venant du milieu et non des êtres vivants, comme les incendies, les précipitations ou la sécheresse.

Menace biotique : menace venant du monde vivant, comme les épidémies d'insectes ou les maladies exotiques.

Nœud à nœud : indicateur de la connectivité utilisé pour identifier les corridors de déplacement les plus probables entre différents « nœuds » spécifiques du territoire.

Parcelle d'habitat : territoire répondant aux besoins fondamentaux d'une espèce.

Pas japonais : ensemble de territoires naturels ou faiblement anthropisés de taille réduite non connectés les uns aux autres, mais localisés entre deux parcelles d'habitat, permettant à certaines espèces de passer d'un territoire à l'autre. La notion peut s'apparenter aux corridors écologiques sans toutefois présenter un lien de continuité.

Perméabilité : notion qui fait référence à la capacité du paysage à permettre le déplacement des espèces fauniques. Contrairement à la connectivité qui caractérise la capacité de déplacement des espèces entre les parcelles d'habitat par le biais de corridors fauniques, la perméabilité renseigne sur la compatibilité des paysages (comprenant les milieux naturels et semi-naturels) avec les besoins fauniques et les processus écologiquement durables.

Qualité de l'habitat : indicateur utilisé pour évaluer si, et dans quelle mesure, un territoire répond aux besoins fondamentaux d'une espèce faunique.

Réseau écologique : ensemble d'éléments physiques et biologiques interconnectés. Le réseau écologique s'apparente aux liens nécessaires aux déplacements des espèces entre les habitats favorables dispersés à l'échelle de leur aire de répartition.

Résilience : capacité d'un milieu naturel à se remettre suite à une perturbation, de façon à maintenir les fonctions écologiques qu'il fournissait à son état initial.

Résistance du paysage : indicateur utilisé pour évaluer dans quelle mesure l'occupation des sols facilite ou empêche les déplacements d'une espèce.

Traits fonctionnels : caractéristiques biologiques des espèces animales et végétales qui dictent leurs réponses à différentes conditions environnementales. À titre d'exemple, la taille de semences et la densité du bois représentent des traits fonctionnels pour les arbres.

Vulnérabilité d'une forêt : mesure de sa sensibilité face aux perturbations et aux facteurs de stress pouvant affecter son fonctionnement. Plus une forêt est vulnérable, plus elle a de probabilité de connaître un déclin au niveau de sa santé et donc de sa productivité.

1. INTRODUCTION

En décembre 2020, Habitat a été mandatée par Parcs Canada pour réaliser l'évaluation de la connectivité écologique à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et le portrait de la résilience de ses peuplements forestiers face aux changements globaux. Ce rapport présente le contexte de l'étude, la méthodologie utilisée, les résultats obtenus ainsi que leur interprétation, de façon à faciliter la compréhension des démarches ainsi que la transparence et la reproductibilité de l'approche.

1.1 Les réseaux d'aires protégées : essentiels pour la résilience face aux menaces liées aux changements globaux

Dans cette ère de changement environnemental sans précédent, les milieux naturels font face à un nombre croissant de [menaces biotiques et abiotiques](#), en plus de nombreux facteurs de stress d'origine anthropique ou naturelle. D'après les prévisions d'Ouranos (2021), il y aura une augmentation des sécheresses dans les prochaines années dans la région de la Mauricie, en raison des moyennes des températures estivales qui augmenteront et des niveaux de précipitation qui demeureront semblables, causant ainsi une diminution de l'humidité dans les sols. Il devient ainsi de plus en plus inquiétant de voir les milieux naturels disparaître en raison d'une augmentation des risques associés aux changements climatiques ou à l'établissement d'insectes exotiques nuisibles. Les cinquante dernières années sont en particulier témoins d'une dégradation et perte généralisée des milieux naturels et d'une perte de connectivité entre ceux-ci. Pourtant, plusieurs études démontrent l'importance de maintenir et d'améliorer la [connectivité écologique](#), notamment pour soutenir la biodiversité, favoriser leur résilience face aux changements globaux et continuer à bénéficier des services écosystémiques rendus par les milieux naturels (Mitchell et al. 2015; Gonzalez et al. 2017).

La notion de connectivité écologique d'un territoire fait référence aux [réseaux écologiques](#) présents à travers ce territoire et utilisés par les espèces fauniques dans le but de se déplacer à l'intérieur de leur aire de répartition. Ces réseaux peuvent être vus comme l'ensemble des liens nécessaires aux déplacements des espèces entre différentes [parcelles d'habitat](#). Pour se rendre d'une parcelle d'habitat à une autre, les espèces fauniques utilisent des territoires naturels ou faiblement anthropisés appelés [pas japonais](#), et dont la présence est essentielle pour permettre les déplacements. Le maintien de ces réseaux écologiques représente donc un élément central à la diversité et la résilience d'un territoire, puisque le mouvement d'organismes et de matériel génétique est nécessaire au maintien et à la création d'une diversité de processus écologiques à l'échelle du territoire (Ahern 2011; Gonzalez et al. 2011). Ces processus écologiques sont aussi indispensables pour soutenir la biodiversité et fournir de nombreux bénéfices, tels que la régulation du climat, l'atténuation des inondations ou la réduction de la pollution.

La notion de [résilience](#) fait référence ici à la capacité des écosystèmes forestiers à se rétablir suite à une perturbation. Il est désormais reconnu que la [diversité](#) dite [fonctionnelle](#) influence la résilience d'une forêt : plus les espèces d'arbres qui composent un écosystème forestier présentent des caractéristiques biologiques diversifiées, plus elles réagiront différemment aux menaces et plus elles seront résilientes à un large spectre de perturbations (Aquilué et al. 2021). On peut également évaluer la résilience d'une forêt sur la base de sa [vulnérabilité](#) aux menaces biotiques (ex. insectes ravageurs, champignons) et abiotiques (ex. événements climatiques extrêmes) (Matthews et al. 2011; Lovett et al. 2016; Brandt et al. 2017).

Autrement dit, l'amélioration de la résilience des milieux naturels dépend du maintien de la diversité et de la connectivité entre les habitats. En ce sens, les aires protégées et les parcs jouent un rôle particulièrement important dans le maintien de la connectivité des habitats, que ce soit à l'échelle locale ou régionale. Souvent

caractérisés par un couvert forestier plus dense et une meilleure contiguïté que les milieux naturels ne bénéficiant d'aucun statut de protection, ces territoires forment des parcelles d'habitats très importantes au sein d'un paysage fortement fragmenté et anthropisé.

Dans le contexte actuel des changements globaux et de l'étalement urbain, la protection de réseaux d'aires protégées connectées est primordiale. En plus de supporter la biodiversité (Chase et al. 2020), de tels réseaux favorisent aussi la connectivité des espèces mobiles pour lesquelles les besoins en superficie d'habitat sont plus importants. Ces grands espaces servant d'habitats doivent alors rester connectés entre eux afin de maintenir les populations locales et les métapopulations à une échelle plus importante (Stewart et al. 2019).

Ce concept est fondamental à l'objectif A du cadre global de la biodiversité au-delà de 2020 selon la Convention sur la diversité biologique, qui vise à améliorer l'efficacité de la protection de la biodiversité via la mise en œuvre de réseaux écologiques reliant les aires protégées (Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique 2020). Plus concrètement, cet objectif se traduit par l'identification et la priorisation des habitats et des milieux naturels dans un réseau de corridors protégés. Une telle approche permet de faciliter et prioriser les actions de conservation et de restauration à mettre en œuvre pour contribuer davantage au maintien de la connectivité.

C'est dans cette optique que la présente étude vise à mettre à disposition une approche et des résultats permettant de guider la prise de décision en matière d'aménagement du territoire. L'objectif est de favoriser le maintien d'un réseau de corridors essentiels au maintien de la biodiversité et des bénéfices rendus par les milieux naturels et de faire un portrait de la résilience des écosystèmes forestiers et de l'impact que cela pourrait avoir sur la connectivité.

1.2 Contexte et objectif de l'étude

Afin de contribuer à l'augmentation de la résilience des milieux naturels de la Mauricie, le présent projet vise à identifier les [corridors de déplacement](#) qui sont prioritaires au maintien de la connectivité à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Ce projet et les résultats en découlant se veulent un outil d'aide à la décision afin de guider la gestion de la conservation du parc national de la Mauricie et d'alimenter la planification stratégique de ces initiatives de concert avec les acteurs locaux. La méthodologie développée dans le cadre de ce projet se veut transparente et reproductible afin qu'elle puisse être transposée à d'autres contextes semblables.

Ce projet d'envergure comprend trois volets principaux, dont les objectifs sont énumérés ci-dessous. Comme le Volet 2 suivra dans une phase ultérieure, le présent rapport aborde les méthodes, résultats et recommandations issus des volets 1 et 3.

Volet 1

Réaliser une analyse géomatique de la connectivité théorique du Grand écosystème du parc national de la Mauricie en fonction de la qualité et disposition spatiale de l'habitat pour cinq espèces focales : le loup de l'Est (*Canis lycaon*), l'ours noir (*Ursus americanus*), la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*), la martre d'Amérique (*Martes americana*) et la salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*).

Volet 2

Modéliser les impacts potentiels identifiés par des scénarios de changements d'occupation des sols sur la connectivité écologique du territoire.

Volet 3

Évaluer la résilience du parc national de la Mauricie face aux changements globaux (via l'analyse de la diversité fonctionnelle de ses peuplements et de leur vulnérabilité aux menaces biotiques et abiotiques) et émettre des recommandations visant à l'améliorer.

2. MÉTHODOLOGIE

La section suivante présente un survol de l'historique de la région d'étude suivi d'un aperçu de la méthodologie employée pour réaliser l'évaluation de la connectivité écologique et de la résilience du parc national de la Mauricie. La méthodologie détaillée est fournie en annexe (annexes A, B et G).

2.1 Historique du parc national de la Mauricie et portée du projet

Le parc national de la Mauricie (PNLM), fondé en 1970 et d'une superficie de 536,7 km², se situe au sein de la municipalité de Shawinigan et est bordé par les municipalités régionales de comté (MRC) de Mékinac et de Maskinongé (figures 1-3). Bien que le parc lui-même soit compris entièrement dans la province naturelle des Laurentides méridionales, la grande région qui l'entoure, ci-après nommée Grand écosystème du parc national de la Mauricie, chevauche deux provinces naturelles : sa partie sud se situe dans la province naturelle des Basses-Terres du Saint-Laurent (BTSL) et sa partie nord dans celle des Laurentides méridionales, selon le cadre écologique de référence du Québec (Li et al. 1999, 2019). Deux réserves fauniques se situent à proximité du PNLM, soit la réserve faunique Saint-Maurice au nord et la réserve faunique Mastigouche à l'ouest. La zone d'exploitation contrôlée (ZEC) du Chapeau-de-Paille borde également le PNLM sur sa limite nord. Le PNLM est ainsi situé dans un milieu à dominance forestière et les activités en lien avec la foresterie occupent d'ailleurs une place importante dans la région.

Dans le cadre de ce projet, l'analyse de la connectivité du PNLM (volet 1) est réalisée à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. La délimitation du Grand écosystème du parc national de la Mauricie, identifiée et fournie par Parcs Canada, a été choisie en fonction du rayon d'incidence des pratiques de gestion du territoire sur l'intégrité écologique des milieux naturels compris au sein du PNLM. L'analyse de connectivité est donc réalisée sur une étendue plus vaste que la superficie du PNLM lui-même, comprenant près de 9 000 km² de territoire qui s'étendent jusqu'à la ville de Trois-Rivières au sud et près de La Tuque au nord (figures 1, 2 et 3). Ainsi, les pratiques de gestion du territoire dans cette région, principalement l'activité forestière dans le nord du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et l'urbanisation et l'agriculture dans le sud, exercent des pressions sur l'intégrité écologique des écosystèmes à l'échelle du PNLM.

L'évaluation de la résilience (volet 3) a quant à elle été réalisée à l'échelle du PNLM afin de fournir des résultats et des conclusions plus adaptées au territoire couvert par le parc.

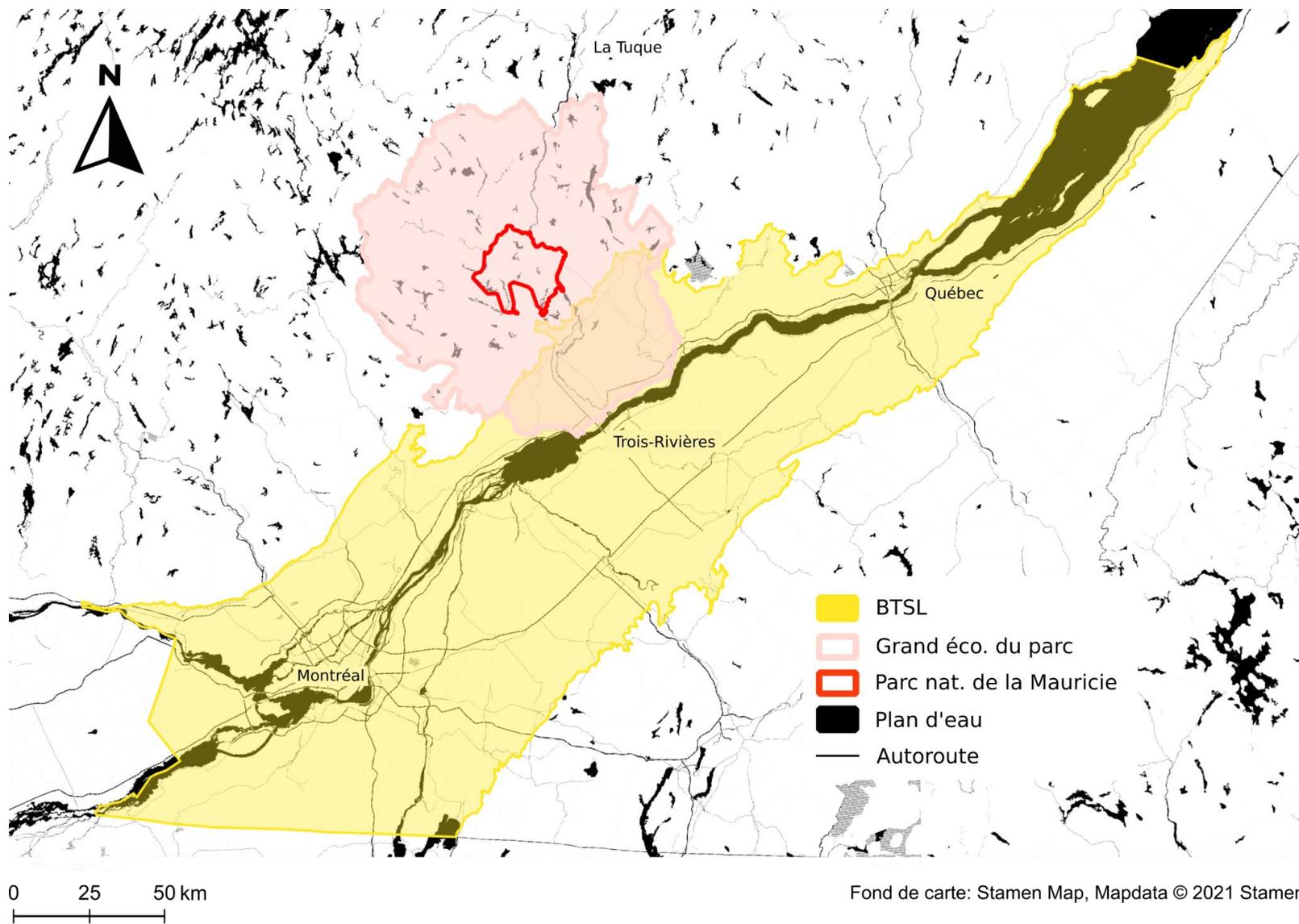


Figure 1. Localisation du Grand écosystème du parc national de la Mauricie à l'échelle des Basses-Terres du Saint-Laurent.

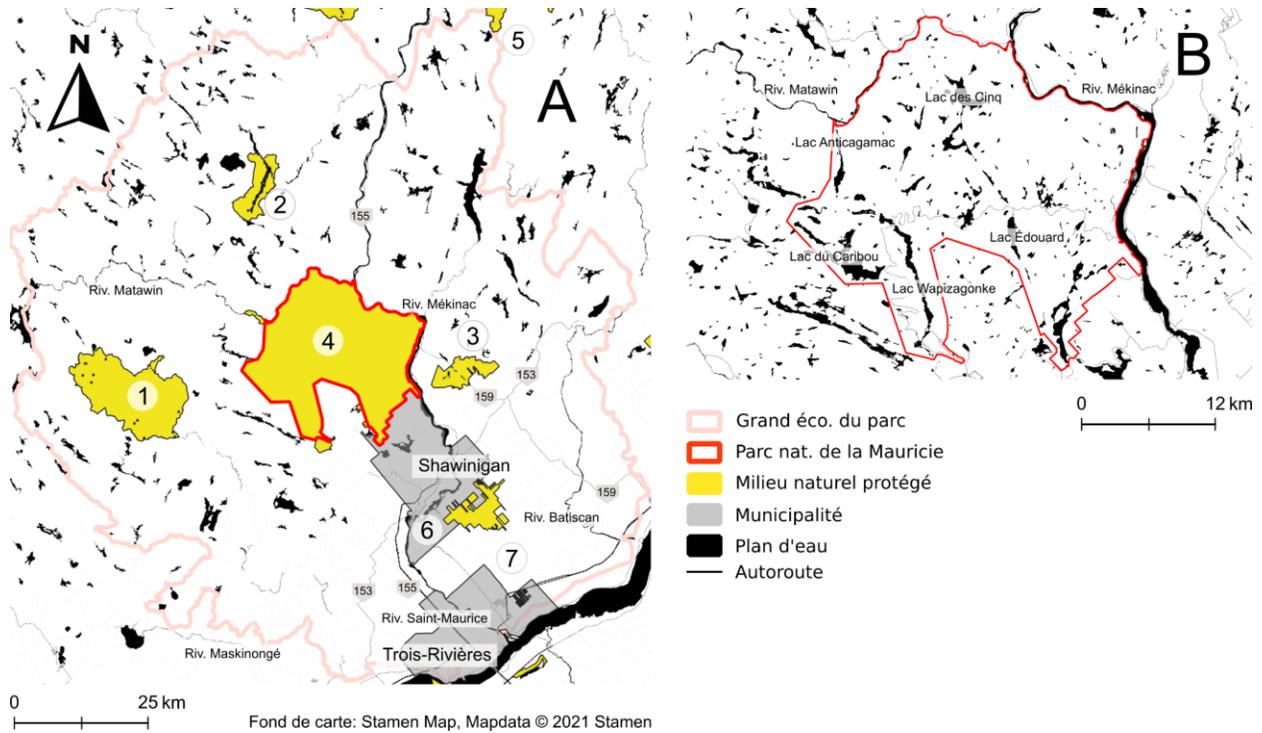


Figure 2. Mise en contexte de la région d'étude soit à l'échelle A) du Grand écosystème du parc national de la Mauricie ou B) du parc national de la Mauricie. Les numéros réfèrent aux territoires suivants : 1) Réserve de biodiversité projetée des Basses-Collines-du-Lac-au-Sorcier, 2) Réserve de biodiversité projetée de la Vallée-Tousignant, 3) Réserve de biodiversité projetée de Grandes-Piles, 4) Parc national de la Mauricie, 5) Réserve de biodiversité projetée du Lac-Wayagamac, 6) Réserve naturelle de la Tourbière-du-Lac-à-la-Tortue et Réserve écologique de Lac-à-la-Tortue, 7) Tourbière Red Mill.

2.

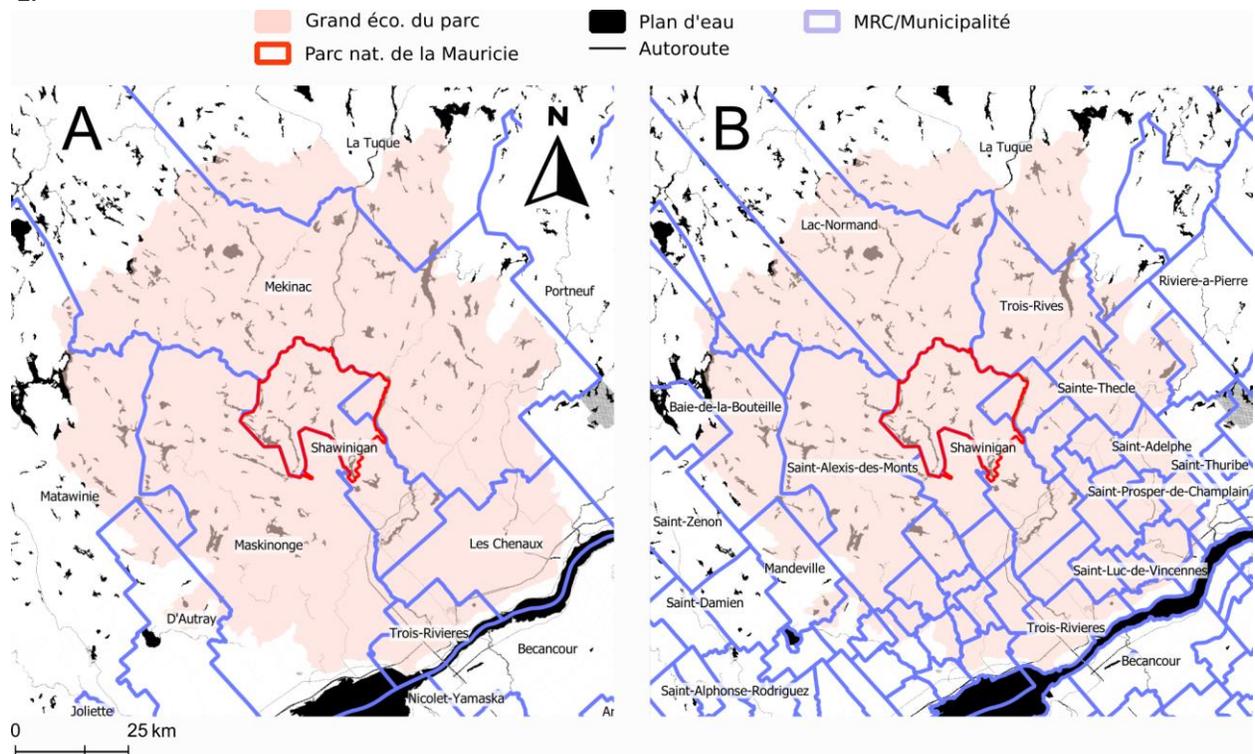


Figure 3. Cartographie des A) MRC ou B) municipalités du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. À noter que seules les municipalités mentionnées dans le rapport sont indiquées sur la carte B.

Compte tenu des pressions anthropiques qui agissent sur la biodiversité et les milieux naturels dans les BTSL, et du fait que cette province naturelle soit la plus peuplée au Québec, plusieurs études se penchent depuis bon nombre d'années sur l'évaluation de la connectivité écologique de ce territoire (Albert et al. 2017; Rayfield et al. 2018; Rayfield et al. 2019; voir figure 4). Ces études cherchent à prioriser les corridors écologiques essentiels pour le maintien de la biodiversité afin de guider les interventions prioritaires permettant de favoriser la conservation de l'intégrité écologique du territoire. Elles permettent également de fournir le contexte régional et le réseau écologique à grande échelle au sein duquel s'insère le Grand écosystème du PNLM. De plus, certaines approches mobilisées pour procéder à l'évaluation de la connectivité à l'échelle du Grand écosystème du PNLM s'inspirent ou sont adaptées de ces études antérieures.

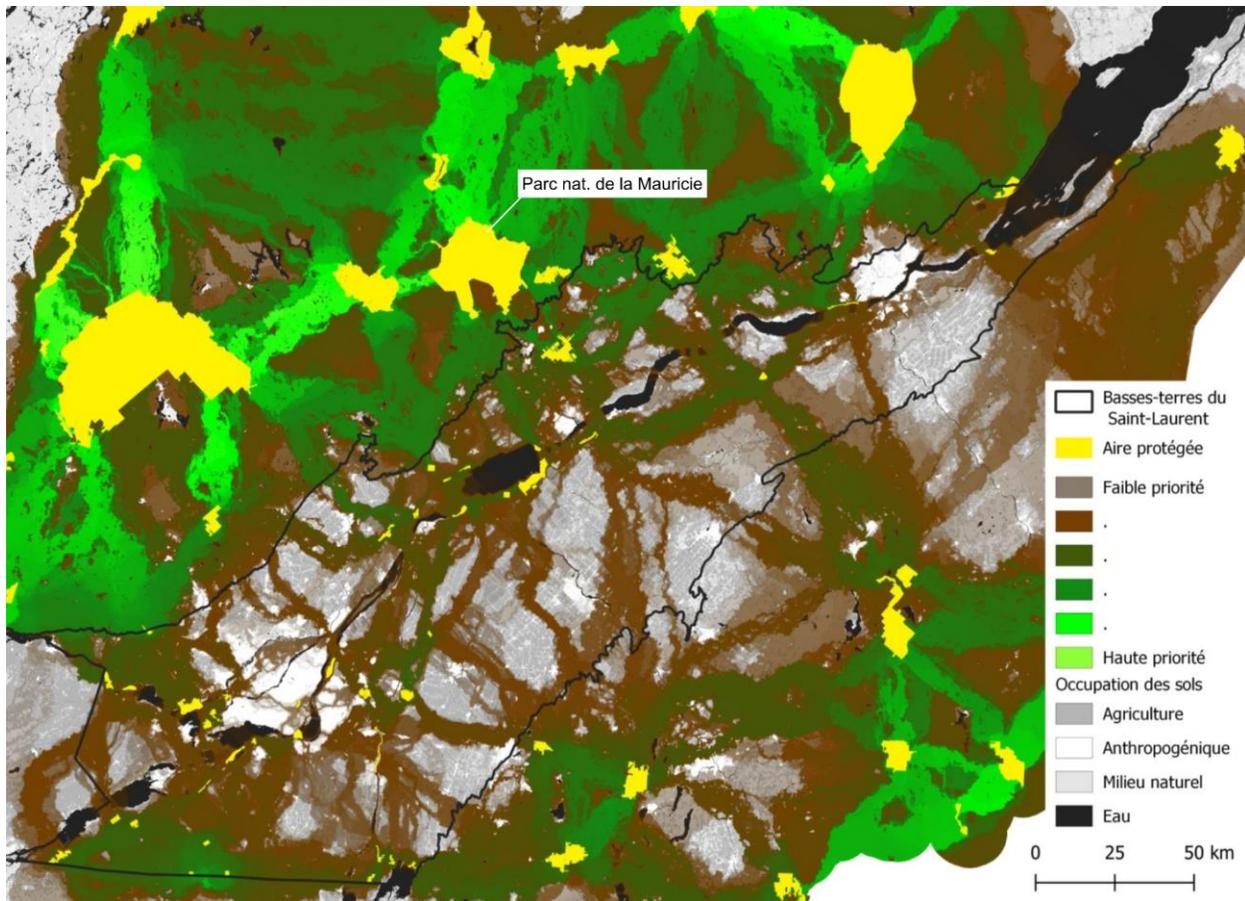


Figure 4. Corridors prioritaires de conservation pour la connectivité à l'échelle des Basses-Terres du Saint-Laurent. Tiré de : Rayfield, B. et Gonzalez, A. (2020). Présentation des priorités pour la conservation de la connectivité écologique (P1-2). [Diapositives Powerpoint]. Ateliers de consultation réalisés pour le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec (Québec).

En plus des pressions anthropiques qui se multiplient dans la région, le recensement de certains insectes et maladies dans le PNLM, comme la rouille vésiculeuse, indique que ce territoire est déjà sujet aux changements globaux. Plusieurs études prévoient d'ailleurs que ces derniers vont augmenter au cours des prochaines décennies à l'échelle globale (IPBES, 2019; IPCC, 2021) ainsi qu'à l'échelle locale, via notamment l'augmentation des sécheresses (Ouranos, 2021). La présente étude vise donc également à déterminer la résilience des écosystèmes forestiers du PNLM face aux changements globaux, à travers des analyses de diversité fonctionnelle et de vulnérabilité, et les impacts potentiels sur la connectivité et les peuplements prioritaires pour la conservation.

2.2 Aperçu de la méthodologie

Les méthodologies employées dans le cadre de cette étude sont décrites brièvement dans cette section et plus en détail dans les annexes de ce rapport.

Volet 1

La méthodologie adoptée pour l'analyse de connectivité s'articule autour de quatre étapes (figure 5). D'abord, un effort d'acquisition d'information et de sélection des cinq espèces focales a été réalisé (figure 5A). Ensuite,

les informations et données acquises ont été mobilisées afin de procéder à la caractérisation du territoire en fonction des indicateurs permettant l'évaluation de la connectivité, c'est-à-dire la qualité, le nombre et la taille des parcelles d'habitat, la résistance du paysage au déplacement des espèces, le flux du courant des corridors de connectivité, la centralité intermédiaire des parcelles d'habitat et les corridors de déplacement (figure 5B). Ces indicateurs servent ensuite d'intrants à un algorithme de priorisation spatiale permettant d'identifier les corridors prioritaires pour la conservation à l'échelle étudiée (figure 5C). Finalement, les résultats ont été synthétisés et interprétés au sein du présent rapport (figure 5D).

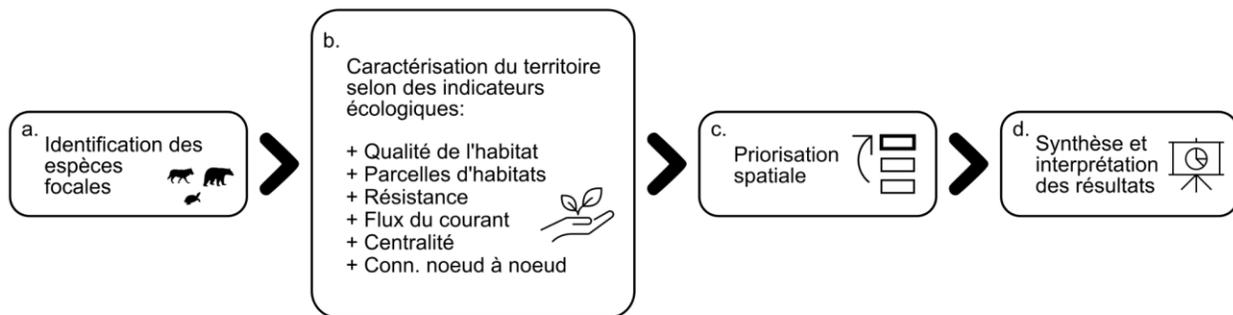


Figure 5. Flux de travail adopté pour l'analyse de connectivité du PNLM à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.

Volet 3

Afin d'évaluer la résilience des peuplements forestiers du PNLM, deux analyses complémentaires ont été réalisées :

- + L'analyse de la diversité fonctionnelle des peuplements forestiers;
- + L'évaluation de la vulnérabilité des espèces forestières face aux menaces biotiques et abiotiques préoccupantes pour la région.

Afin de procéder à l'analyse de diversité fonctionnelle, les espèces d'arbres ont d'abord été regroupées selon la similitude de leurs traits fonctionnels, sous forme de groupes fonctionnels d'après Paquette et al. (2021). L'indice de diversité fonctionnelle a ensuite été calculé selon la méthode employée par Aquilué et al. (2021). Cet indice permet de déterminer le nombre de groupes fonctionnels présents sur le territoire ainsi que leur abondance relative (Hills, 1973 dans Magurran, 2004), et fournit ainsi un proxy pour évaluer la capacité d'un système à se remettre après différentes perturbations.

L'analyse de vulnérabilité consiste à déterminer la superficie des peuplements forestiers qui serait impactée par de potentielles menaces, qu'elles soient biotiques ou abiotiques. Les 5 menaces biotiques sélectionnées dans le cadre de projet sont celles qui ont été jugées les plus préoccupantes pour le contexte du PNLM, ayant des impacts potentiellement graves d'un point de vue économique et/ou écologique (Lovett et al. 2016; Brandt et al. 2017). Les 5 menaces abiotiques ont quant à elles été sélectionnées à partir des travaux de Matthews et al. (2011). La vulnérabilité des espèces d'arbres du PNLM a été calculée pour chacune des 10 menaces sélectionnées.

Les détails des méthodologies employées dans le cadre de ce projet sont fournis dans les annexes A à G et les résultats de chacune de ces analyses ont été interprétés, synthétisés et présentés dans ce rapport.

3. RÉSULTATS

La section suivante présente les résultats des analyses visant à évaluer la connectivité écologique du parc national de la Mauricie ainsi que la résilience de ses peuplements forestiers. Ces résultats incluent notamment le portrait de l'occupation des sols de la région d'étude, la connectivité écologique du paysage, les priorités de conservation ainsi que la diversité fonctionnelle de ces peuplements forestiers et leur vulnérabilité aux menaces biotiques et abiotiques. Des informations supplémentaires comprenant des cartes de haute résolution peuvent être consultées en annexe.

3.1 Caractérisation du Grand écosystème du parc national de la Mauricie : un territoire dominé par les forêts et milieux humides

Le territoire du Grand écosystème du parc national de la Mauricie est majoritairement composé de milieux naturels. Ces derniers représentent environ 83 % (744 661,6 ha) du territoire d'étude (figures 6 et 7, tableau 1).

Parmi les écosystèmes présents, les forêts dominent puisque leur couverture équivaut à 66,4 % (594 788,2 ha) du territoire. Les forêts mixtes sont les plus nombreuses (28,8 % du territoire, 257 993,2 ha), suivies des forêts feuillues (27 %, 257 993,2 ha) et de conifères (10,6 %, 94 805,7 ha). Dans cette superficie forestière, les coupes et la régénération totalisent 48 285,9 hectares depuis 1999.

À l'échelle du parc national de la Mauricie, le territoire est composé à 40 % de forêts mixtes, 34 % de forêts de feuillus et 10 % de forêts de conifères, ce qui représente 2,4%, 2,0% et 0,6% du Grand écosystème du parc national de la Mauricie (tableau 1).

Tableau 1. Sommaire des superficies (sup.) des milieux naturels, anthropiques, agricoles et protégés du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et des milieux naturels du parc national de la Mauricie. Le tableau indique la proportion du territoire occupé par chaque type de milieu à l'échelle du Grand écosystème (Grand éco. %) ou celle du parc national de la Mauricie (PNLM %). Les milieux protégés sont représentés séparément en gris du fait qu'ils ne constituent pas une classe d'occupation des sols, mais plutôt un statut légal.

	Sup. (ha)	Grand éco. (%)	PNLM (%)
GRAND ÉCOSYSTÈME DU PARC	896 351,9	100	
Milieux naturels	744 661,6	83,2	
Aquatique	88 544,2	9,9	
Arbustaies	24 816,2	2,8	
Forêt de conifères	94 805,7	10,6	
Forêt de feuillus	241 989,3	27,0	
Forêt mixte	257 993,2	28,8	
Milieux humides	35 697,4	4,0	
Sols nus et landes	815,6	0,1	
Coupes et régénération	48 285,9	5,4	
Milieux anthropiques	32 373,5	3,5	
Anthropique	7 483,5	0,8	
Routes majeures	3 058,0	0,3	
Routes mineures	21 832,0	2,4	
Milieux agricoles	71 031	7,9	
Milieux protégés	86 593,0	9,7	
PARC NATIONAL DE LA MAURICIE	53 512,0	6,0	100
Milieux naturels	52 862,7	5,9	100
Aquatiques	6 171,3	0,7	11,5
Arbustaies	25,2	<0,1	<0,1
Forêt de conifères	5 500,0	0,6	10,3
Forêt de feuillus	18 058,9	2,0	33,7
Forêt mixte	21 629,3	2,4	40,4
Milieux humides	1 478,0	0,2	2,8

Une forte proportion de milieux aquatiques dans le nord et de milieux humides dans la portion sud caractérise aussi le territoire. Les lacs et rivières représentent 9,9 % (88 544,2 ha) du territoire du Grand écosystème du parc de la Mauricie tandis que les milieux humides recouvrent 4 % (35 697,4 ha).

La présence humaine est notable surtout dans la portion sud du territoire d'étude qui fait partie de la province naturelle des BTSL. Cette présence humaine se reflète au niveau de l'occupation des sols, par la proportion occupée par les milieux agricoles (7,9 %, 71 031 ha), les milieux urbains (0,8 %, 7 483,5 ha) et les infrastructures routières (2,7 % du territoire, 24 890 ha).

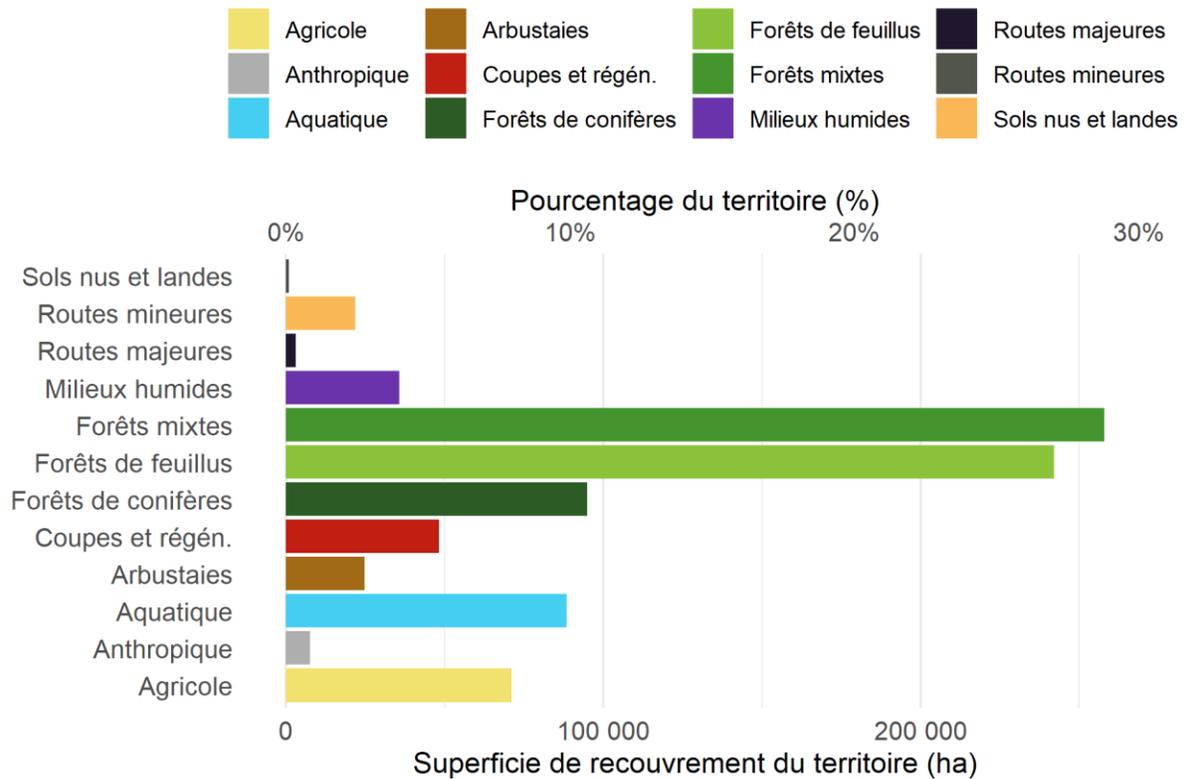


Figure 6. Pourcentage de recouvrement des classes d'occupation des sols pour le territoire du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.

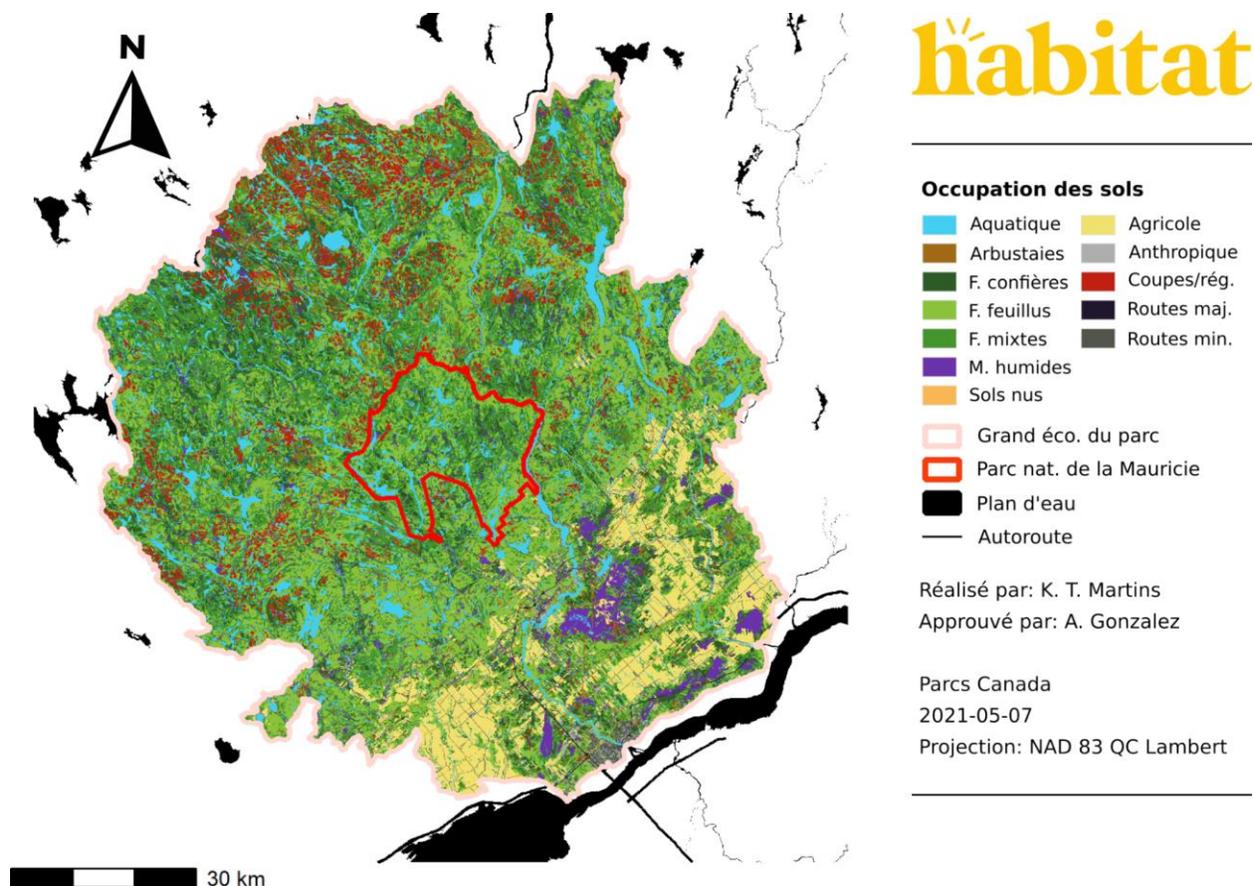


Figure 7. Cartographie de l'occupation des sols à l'échelle du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.

Finalement, 9,7 % (86 593 ha) du territoire du Grand écosystème du parc de la Mauricie bénéficie d'un statut de protection grâce notamment à la présence du PNLN qui participe à hauteur de 6 % (53 510,9 ha) à la protection du territoire.

3.2 Un paysage perméable et constitué d'habitats convenables aux espèces focales

Les paragraphes suivants détaillent les résultats relatifs aux habitats convenables pour les espèces focales ainsi que la capacité de déplacement des espèces dans le paysage en fonction de la perméabilité de celui-ci. Les données géomatiques issues de nos analyses permettent ainsi une évaluation et une cartographie approfondie des points névralgiques favorables au déplacement des espèces focales. Les résultats concernant l'analyse de [centralité intermédiaire](#), qui fait référence au positionnement d'une parcelle d'habitat relativement à celles autour pour faciliter le déplacement d'une espèce vers d'autres parcelles, se trouvent quant à eux dans l'annexe D.

3.2.1 Importantes superficies d'habitats pour le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre cendrée

Comme évoqué précédemment, le Grand écosystème du parc de la Mauricie est principalement composé de milieux naturels. La variété de ces écosystèmes représente d'ailleurs de l'habitat convenable pour plusieurs espèces focales, comme le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre cendrée (figures 6, 8 et 9). En général, les milieux naturels dont la valeur d'indice de [qualité de l'habitat](#) (IQH) est élevée se limitent principalement au centre et au nord du territoire d'étude.

Selon les analyses, environ 61 % (545 952,4 ha) du territoire possède une valeur d'IQH intermédiaire à élevée (>60 %) pour le loup de l'Est et cette proportion dépasse les 75 % (676 545,3 ha) pour l'ours noir (figures 6 et 8). Ces grands prédateurs apprécient les vastes étendues de forêts feuillues ou mixtes relativement peu perturbées de la région (Mainguy 2017 ; Rayfield et al. 2019).

Le territoire semble toutefois globalement convenir davantage à l'ours noir puisque la valeur d'IQH intermédiaire (60-80 %) pour cette espèce est supérieure à celle du loup de l'Est (figures 6 et 8). Ceci s'explique par deux facteurs. D'une part, l'ours noir est moins sensible à l'activité humaine (dans ce cas, mesuré en fonction de la présence de milieux anthropiques ou du réseau routier). En effet, il peut tolérer l'activité humaine lorsque celle-ci est à une distance supérieure de 100 mètres tandis que, dans le cas du loup de l'Est, cette distance doit être minimalement de 1 000 mètres. De ce fait, bien que les deux espèces aient une préférence similaire pour les milieux boisés, une plus grande proportion du territoire est caractérisée par une valeur d'IQH intermédiaire à élevée pour l'ours noir comparativement au loup de l'Est.

Les besoins en habitat de la tortue des bois se distinguent de ceux de l'ours noir et du loup de l'Est puisque la tortue des bois possède un cycle de vie fortement lié au milieu aquatique. Elle ne s'éloigne donc qu'à une distance maximale de 300 m des cours d'eau, ce qui conditionne les zones ayant une valeur d'IQH élevée pour cette espèce. Les habitats ayant une valeur d'IQH élevée pour cette espèce se trouvent d'ailleurs généralement à moins de 150 m des plans d'eau et des rivières répartis de façon hétérogène sur le territoire (figures 6 et 8). Ainsi, une plus faible proportion de milieux naturels du territoire (9,1 % du territoire, 81 909,7 ha) possède une valeur d'IQH intermédiaire à élevée pour la tortue des bois comparativement à l'ours noir et au loup de l'Est (figure 8). À noter que de cette superficie, 17 802,9 hectares sont classés comme habitats sensibles pour l'espèce selon ECCC (2020). Ce sont également des sites de conservation importants pour la tortue des bois qui appartiennent à Conservation de la Nature du Canada, la Société d'Histoire Naturelle de la vallée du Saint-Laurent et la Ville de Trois-Rivières. Finalement, un total de 90,9 % (814 442,2 ha) du territoire détient une valeur d'IQH sous le seuil de 60 % pour la tortue des bois, en raison de la distance aux cours d'eau ou parce qu'il s'agit de milieux anthropiques ou agricoles non convenables pour l'espèce. Pour la tortue des bois, les valeurs d'IQH ont été tirées de Giguère et al. (2011).

Le pourcentage du territoire propice pour la martre d'Amérique est le moins élevé en comparaison avec les deux autres mammifères étudiés (le loup de l'Est et l'ours noir). En effet, environ 59 % (530 139,9 ha) du territoire possède une valeur d'IQH intermédiaire à élevée (>60 %) pour la martre (figures 6 et 9). Elle se distingue des autres espèces par ses préférences d'habitat plus restrictives notamment pour les forêts matures (plus de 70 ans), denses (plus de 60 % de couverture), de conifères ou mixtes, présentant des structures verticales et horizontales complexes. De plus, ses habitats se limitent aux zones situées à au moins 30 m des autoroutes et préférablement à plus de 1 km de celles-ci (figure 9).

En ce qui concerne la salamandre cendrée, environ 76 % (681 436,2 ha) du territoire possède une valeur d'IQH intermédiaire à élevée (>60 %) (figures 6 et 9). Le pourcentage du territoire propice pour la salamandre est donc le plus élevé, en comparaison avec les quatre autres espèces étudiées. Cette espèce est sédentaire et territoriale et elle est connue pour vivre sous la litière formée par les feuilles mortes ou sous les débris aux sols. Elle préfère ainsi les forêts humides et matures, feuillues ou mixtes (Rayfield et al. 2019). Tout comme la

tortue des bois, mais contrairement au loup de l'Est, à l'ours noir ou à la martre d'Amérique, la salamandre cendrée tolère donc moins les forêts de conifères.

La salamandre cendrée ainsi que la martre d'Amérique sont toutes deux sensibles aux coupes forestières, ce qui peut avoir un impact négatif sur la qualité et la connectivité des habitats disponibles pour ces deux espèces.

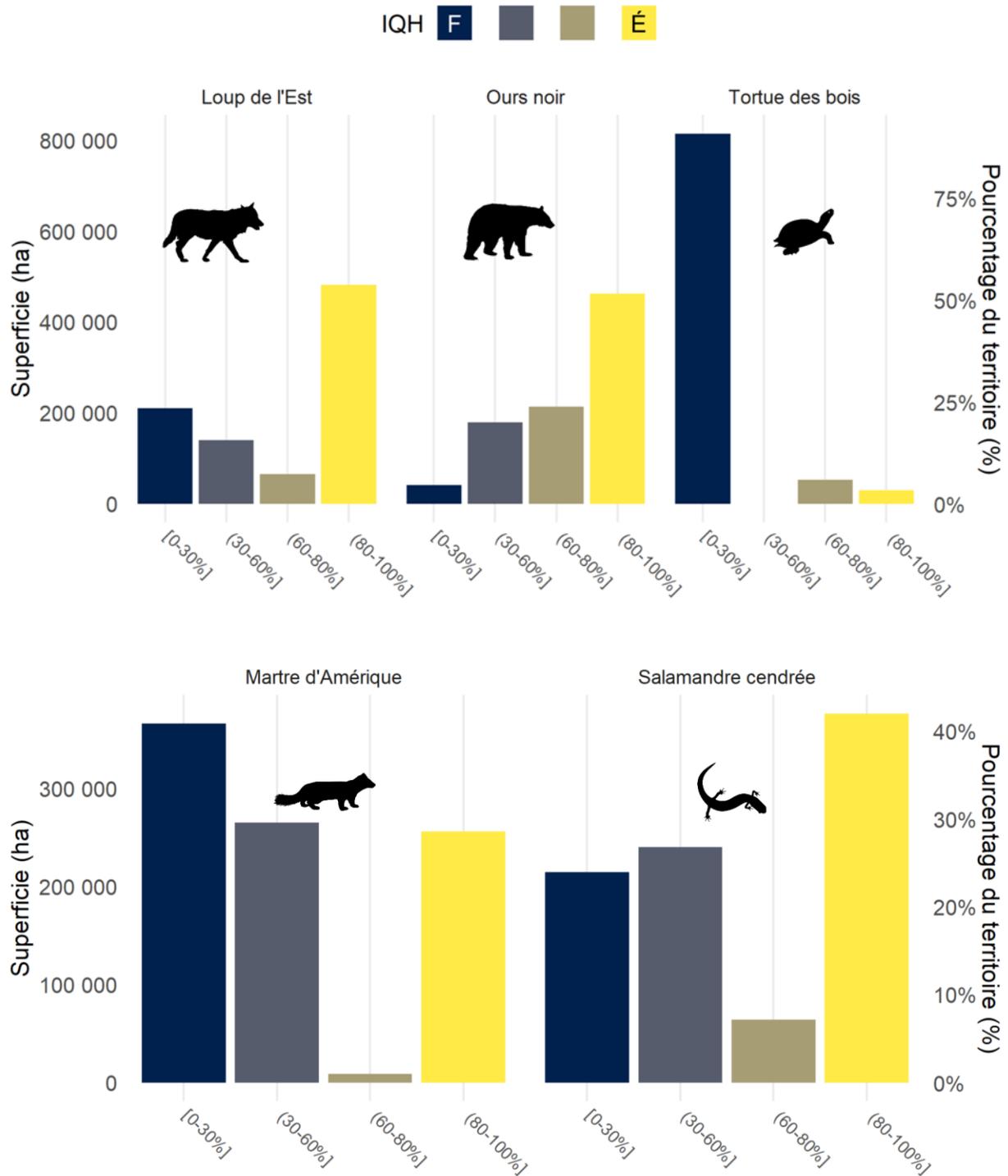


Figure 8. Superficie (ha) et pourcentage (%) des milieux naturels selon la classe de l'indice de qualité de l'habitat (IQH) pour le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre **cendrée** suivant la répartition de valeurs de Rayfield et al. (2019). L'IQH varie entre 0 et 100, et peut être catégorisé de la façon suivante : 0 = aucune utilisation potentielle de l'habitat, < 30 = utilisation évitée de l'habitat, 30-60 = utilisation occasionnelle de l'habitat (absence de reproduction), 60-80 = utilisation systématique de l'habitat pour la reproduction, 80-100 = utilisation optimale de l'habitat pour la reproduction et la survie de l'espèce. Les valeurs

d'habitat supérieures ou égales à 60 ont été considérées comme correspondant à des habitats potentiels dans les analyses de connectivité. Dans l'axe des abscisses, une parenthèse carrée (« [» ou «] ») indique un seuil inclusif, c'est-à-dire que la valeur seuil est comprise dans la gamme de valeurs d'IQH, tandis qu'une parenthèse (« (» ou «) ») indique un seuil exclusif, c'est-à-dire que la gamme de valeurs ne comprend pas cette valeur seuil. Les proportions (%) des superficies relatives à la superficie totale du Grand écosystème du parc national de la Mauricie sont également indiquées.

3.2.2 Le déplacement animal est contraint par la présence de milieux anthropiques

Pour évaluer dans quelle mesure l'occupation des sols facilite ou empêche les déplacements d'une espèce, nous avons analysé la résistance du territoire au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et les résultats de cette analyse sont utilisés par la suite comme intrants dans l'analyse de flux du courant (connectivité). Une résistance élevée du paysage signifie généralement une faible fréquentation de ce milieu par les espèces focales ciblées. Les cartes de résistance sont présentées à l'annexe C.

Selon ces analyses, les milieux qui se caractérisent par une valeur de résistance élevée pour le loup de l'Est et l'ours noir se situent dans le sud du territoire, ce qui correspond à la partie la plus anthropisée de l'aire d'étude avec notamment un réseau routier dense, d'importantes superficies dédiées à l'agriculture et la présence de la ville de Trois-Rivières. Les routes 155 et 159 traversant le territoire du nord vers le sud présentent également des valeurs élevées de résistance. Ces voies de circulation font office de barrières aux déplacements du loup de l'Est et divisent un vaste complexe de milieux boisés qui serait autrement contigu. Dans le même ordre d'idée, les secteurs de coupes et les milieux aquatiques sont également considérés dans nos analyses comme des obstacles au déplacement du loup de l'Est et de l'ours noir.

Dans le cas de la tortue des bois, une valeur de résistance élevée est attribuée aux milieux anthropiques ou naturels à plus de 300 mètres des plans d'eau et rivières puisque l'espèce ne s'éloigne que rarement à une distance supérieure (Harding & Bloomer 1979).

Concernant la martre d'Amérique, cette espèce est capable de couvrir des dizaines de kilomètres quand elle se déplace, surtout les mâles juvéniles. De plus, la martre exige un domaine vital large (plusieurs centaines d'hectares) et elle évite généralement les espaces ouverts et les clairières (Rayfield et al. 2019). La résistance associée aux coupes forestières est quatre fois plus élevée pour la martre d'Amérique que pour le loup de l'Est ou l'ours noir selon les paramètres de nos modèles (annexe B). Comme les autres espèces, les autoroutes (mineures ou majeures), les centres urbains, les zones agricoles ainsi que les cours d'eau représentent des barrières importantes au déplacement de la martre d'Amérique.

Contrairement aux autres espèces, la capacité de dispersion de la salamandre cendrée est assez basse, ayant une aire vitale de seulement plusieurs dizaines de mètres carrés et ne s'aventurant pas plus loin qu'une cinquantaine de mètres dans un espace ouvert (Rayfield et al. 2019). Les routes et les bordures, jusqu'à 20-30 m, sont néfastes pour les populations et limitent les mouvements des individus (Rayfield et al. 2019). Selon les paramètres des modèles utilisés, la salamandre cendrée est aussi sensible aux coupes forestières que la martre d'Amérique soit davantage que l'ours noir ou le loup de l'Est. Les centres urbains et cours d'eau représentent d'autres barrières à son mouvement au sein du territoire.

3.2.3 Différences au niveau des superficies et de la répartition de l'habitat et des espèces focales

Les délimitations des habitats convenables pour les cinq espèces étudiées ont été déterminées à partir de l'analyse de l'indice de qualité d'habitat (IQH) pour chacune d'entre elles. En effet, lorsque des zones

géographiques possèdent des valeurs d'IQH supérieures à 60, elles sont considérées comme des habitats potentiels. Après avoir identifié ces zones, seules les parcelles d'habitat contiguës ayant une superficie au-dessus d'un seuil minimal, nécessaire à la survie de chaque espèce, ont été retenues.

Ces analyses ont permis de déterminer qu'environ 56,2 % du territoire (503 894,4 ha) sont représentés par des milieux naturels pouvant être qualifiés de parcelles d'habitat pour le loup de l'Est (figure 9). Malgré une préférence semblable à celle de l'ours noir pour les habitats forestiers, le pourcentage du territoire occupé par de l'habitat convenable au loup de l'Est est contraint par un seuil de superficie d'habitat minimal (15 000 hectares) exigé par cette espèce (Colette-Hachey et al. 2018). Un seuil plus de 10 fois supérieur à celui de l'ours (1 200 ha). Cette superficie d'habitats contigus est essentielle pour le loup de l'Est afin de satisfaire ses exigences en matière d'alimentation et de reproduction. De plus, le loup de l'Est est généralement plus sensible à l'activité humaine que ne l'est l'ours noir, ce qui explique la répartition des parcelles d'habitat exclusivement au nord du territoire (figure 10A et 8D).

En ce qui concerne l'ours noir, la superficie occupée par des parcelles d'habitat convenables à ses besoins est la plus élevée parmi les cinq espèces focales. En effet, environ 67,8 % (607 312,6 ha) de la superficie totale du territoire constituent des parcelles d'habitat convenables (figure 9) réparties principalement dans le nord du territoire avec quelques parcelles dans le sud (figure 10B et E). Ceci s'explique majoritairement par le fait que l'ours noir tolère un éventail élargi de conditions environnementales en matière d'habitat d'alimentation de reproduction, dont une tolérance pour l'activité humaine.

La superficie occupée par des parcelles d'habitat convenables aux besoins de la tortue des bois est la plus faible parmi les cinq espèces focales. Au total, environ 8,8 % (78 831,8 ha) de la superficie totale du territoire constituent des parcelles d'habitat convenables (figure 9). Ceci s'explique majoritairement par le fait que les habitats de la tortue se localisent exclusivement le long du réseau hydrique (figure 10C et F).

Environ 18,5 % du territoire (165 833,1 ha) sont représentés par des milieux naturels pouvant être qualifiés de parcelles d'habitat pour la martre d'Amérique (figure 9). Elles se trouvent presque exclusivement dans la portion nord du territoire et se limitent aux forêts de conifères ou mixtes suffisamment matures (>50 ans), dont une grande proportion se trouve à l'intérieur du parc national de la Mauricie (figure 9A et 9C). C'est d'ailleurs la seule espèce, parmi les cinq espèces étudiées, pour laquelle les habitats propices se trouvent en grande partie à l'intérieur des limites du PNL (figure 11A et C).

En ce qui concerne la salamandre cendrée, environ 48,6 % du territoire (435 395,8 ha) sont représentés par des milieux naturels pouvant être qualifiés de parcelles d'habitat pour cette espèce (figure 9). Le pourcentage du territoire occupé par l'habitat convenable à la salamandre cendrée est élevé en raison du seuil de superficie d'habitat minimal exigé par la salamandre, atteignant trois hectares (Rayfield et al. 2019). Ainsi, très peu des habitats potentiellement propices pour l'espèce sont supprimés des analyses en raison d'une superficie contraignante. Les parcelles d'habitat convenables aux besoins de la salamandre cendrée sont réparties sur l'ensemble du territoire (figure 11B et D), soit dans les parties nord et sud.

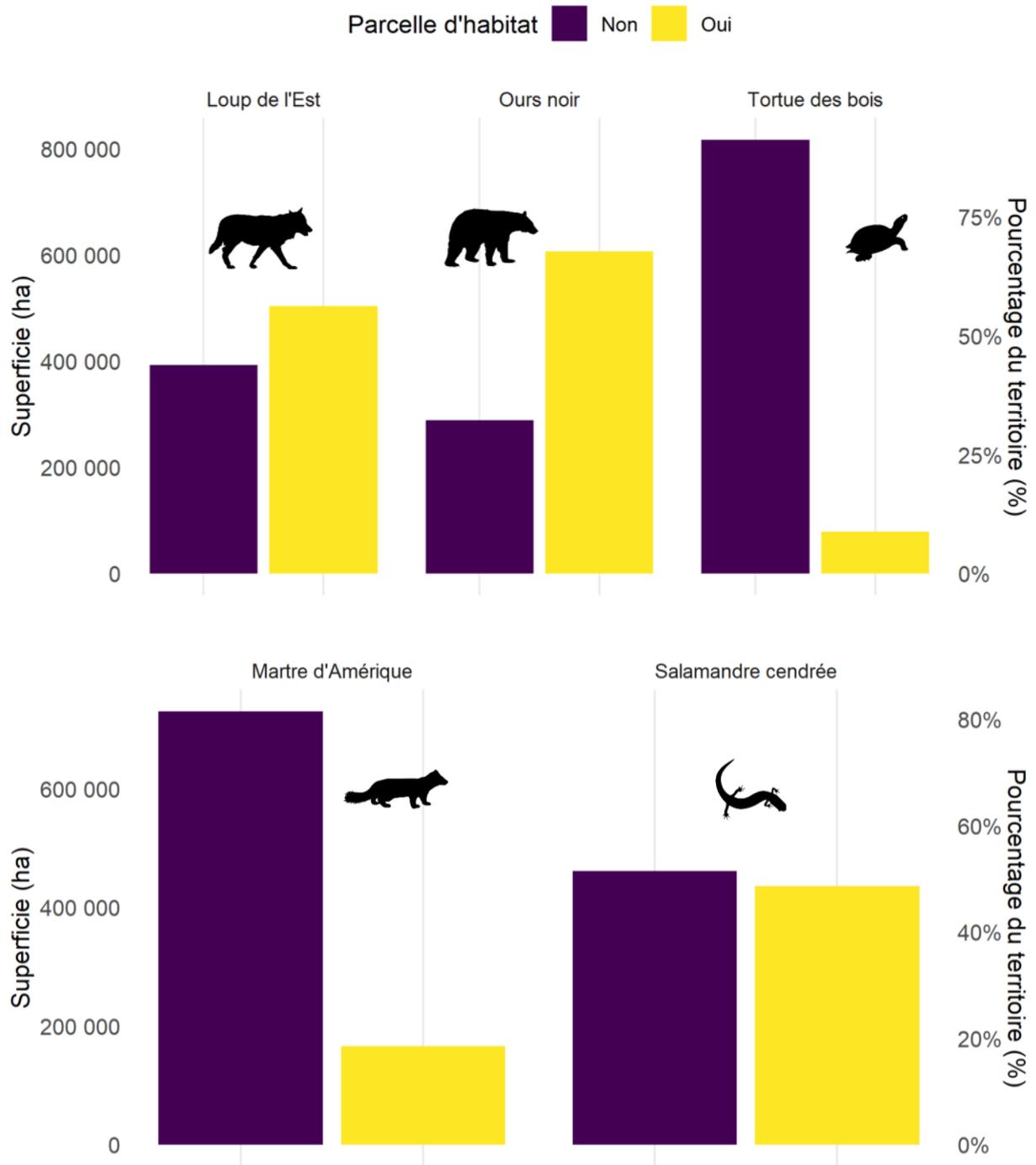


Figure 9. Superficie (ha) et proportion du territoire (%) occupées par les parcelles d'habitat pour le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre cendrée au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.

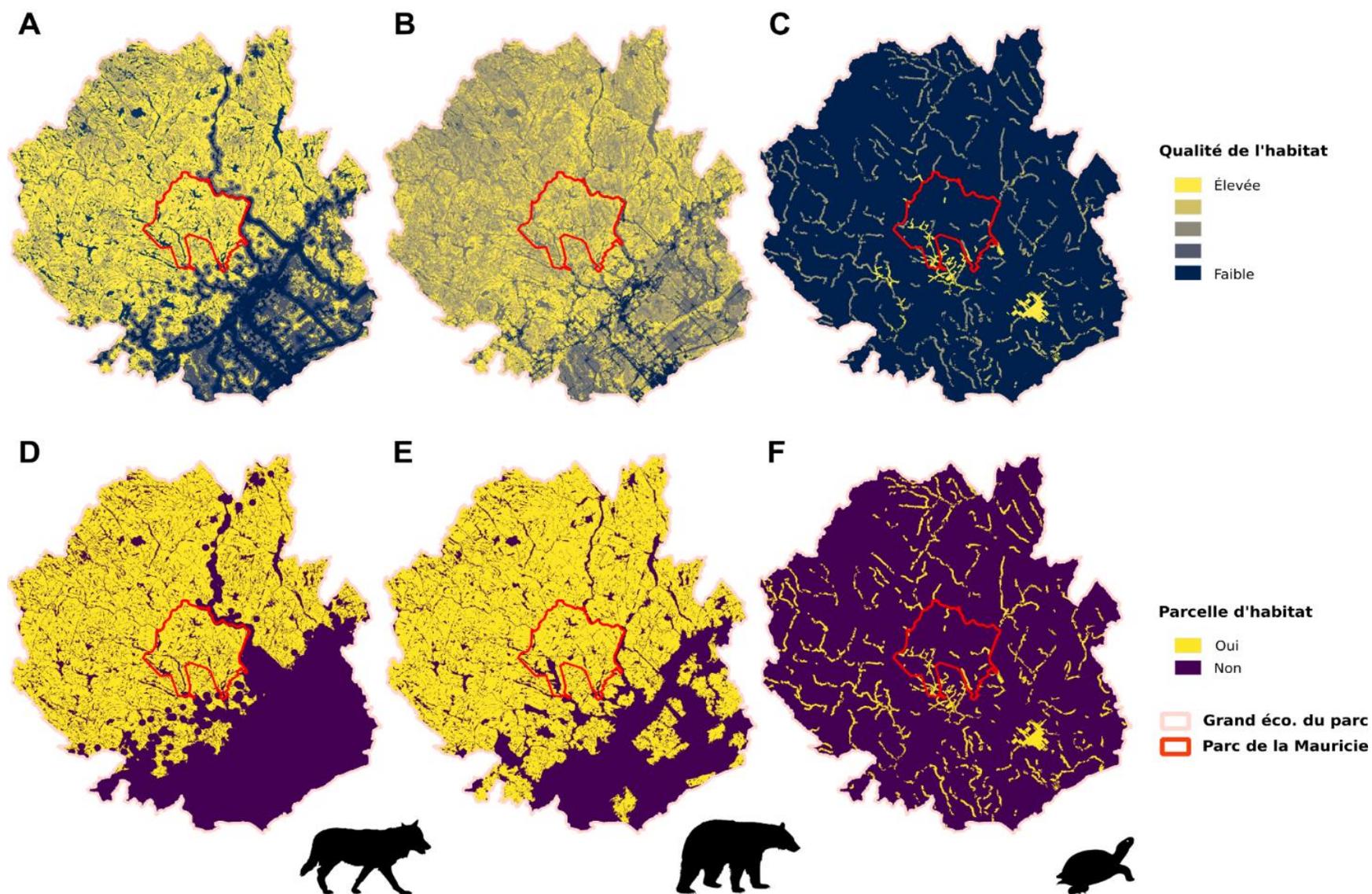


Figure 10. Cartographie de l'indice de qualité de l'habitat, ainsi que de la délimitation des parcelles d'habitat pour le loup de l'Est (A, D), l'ours noir (B, E) et la tortue des bois (C, F) au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Les données d'IQH pour la tortue des bois sont issues de Giguère et al. (2011).

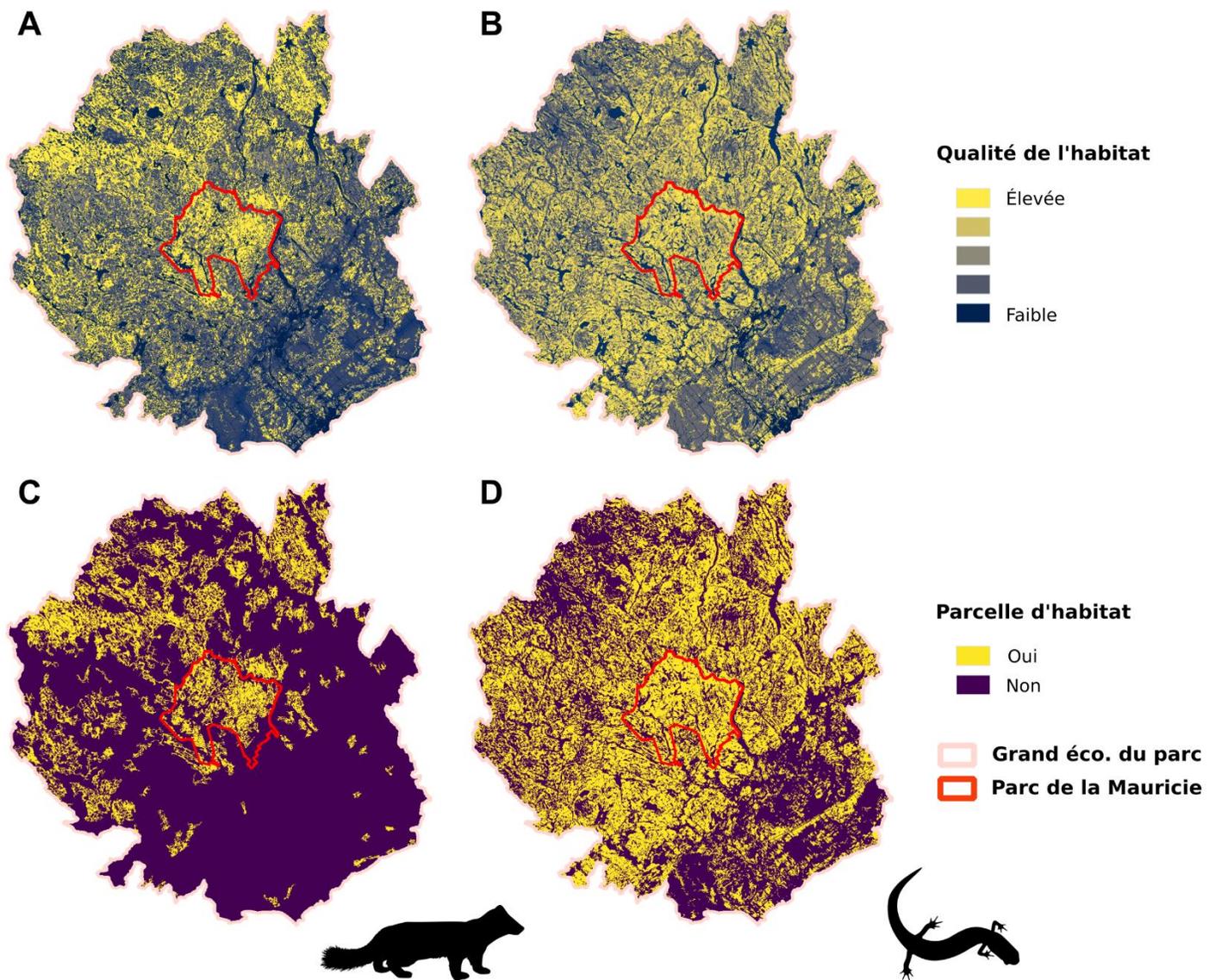


Figure 11. Cartographie de l'indice de qualité de l'habitat, ainsi que de la délimitation des parcelles d'habitat pour la martre d'Amérique (A, C) et la salamandre cendrée (B, D) au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.

3.3 Connectivité et déplacement des espèces au sein du territoire

Dans cette section, deux analyses de connectivité sont utilisées de façon complémentaire pour chacune des 5 espèces focales étudiées : l'analyse de flux du courant et l'analyse nœud à nœud. Ces deux analyses se basent sur les données d'occupation des sols pour identifier les milieux qui facilitent ou empêchent le déplacement des espèces étudiées.

Alors que l'analyse de flux du courant évalue le déplacement « omnidirectionnel » des espèces focales à travers le territoire selon un modèle de circuit électrique, l'analyse nœud à nœud renseigne sur les corridors de déplacement les plus probables entre différents « nœuds » spécifiques du territoire pour chacune des espèces étudiées. L'analyse de flux du courant est souvent utilisée pour évaluer la connectivité à longue distance tandis que l'analyse nœud à nœud permet d'identifier les obstacles au déplacement des espèces entre différents nœuds et donc, des opportunités pour la restauration afin de renforcer la connectivité et le réseau de déplacement des espèces.

Dans le cadre de ce projet, l'analyse nœud à nœud visait ainsi à mettre en évidence les corridors de déplacement reliant les aires protégées immédiatement adjacentes au PNLN, à l'intérieur des limites du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Sur le modèle des analyses réalisées par Rayfield et al. (2019) et Rayfield & Gonzalez (2021) et identifiant notamment des corridors de déplacement entre les aires protégées du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et celles des BTSL (Rayfield et al. 2019), nous avons développé une méthodologie adaptée au contexte d'étude et intégrant les algorithmes de modélisation établis. Pour de plus amples détails sur la méthodologie employée, veuillez consulter l'annexe A du rapport.

Les nœuds utilisés pour cette analyse correspondent aux centres géographiques des aires protégées suivantes :

1. Réserve de biodiversité projetée des Basses-Collines-du-Lac-au-Sorcier
2. Réserve de biodiversité projetée de la Vallée-Tousignant
3. Réserve de biodiversité projetée de Grandes-Piles
4. Parc national de la Mauricie
5. Réserve de biodiversité projetée du Lac-Wayagamac
6. Réserve naturelle de la Tourbière-du-Lac-à-la-Tortue et Réserve écologique de Lac-à-la-Tortue
7. Tourbière Red Mill

Dans le reste du rapport, les références à ces aires protégées seront faites à partir des numéros qui leur sont associés.

Les résultats pour ces deux analyses complémentaires sont illustrés à la figure 12.

L'analyse de flux du courant révèle plusieurs tendances au niveau du déplacement du loup de l'Est. Nous constatons premièrement que la section sud du territoire est faiblement connectée (figure 12A). Selon la perspective du loup, le secteur est en effet parsemé d'îlots boisés peu connectés entre eux et imbriqués dans un paysage principalement agricole et urbain, milieux que le loup de l'Est a une forte propension à éviter (ECCC 2017). Ainsi, il est très peu probable que le loup de l'Est fréquente cette partie du territoire. Les résultats de l'analyse nœud à nœud viennent compléter ce portrait en identifiant le corridor que le loup pourrait emprunter (c.-à-d. le chemin avec le moins de résistance) dans l'éventualité où il devrait se rendre du point #4 au point #6 (figure 12D, figure F6 à l'annexe F). Toutefois, compte tenu de l'absence d'habitat pour le loup dans cette partie du territoire, ces tracés devraient plutôt servir à renforcer le réseau de cette espèce, en prévoyant notamment des corridors qui relient les aires protégées en périphérie des zones urbaines.

Les milieux boisés au centre et au nord du territoire jouent quant à eux un rôle important pour faciliter le mouvement du loup de l'Est et il peut se déplacer assez librement dans ces secteurs. Les cours d'eau, les plans d'eau et les milieux anthropiques le long des autoroutes 155 et 159 représentent cependant de véritables barrières au déplacement de l'espèce, comme l'illustrent les corridors de déplacement entre les aires protégées #1, 2, 3, 4, et 5. Les liens de connectivité entre les deux rives de la rivière Saint-Maurice correspondent aux points où la largeur de la rivière est la moins importante et où il y a présence d'une île.

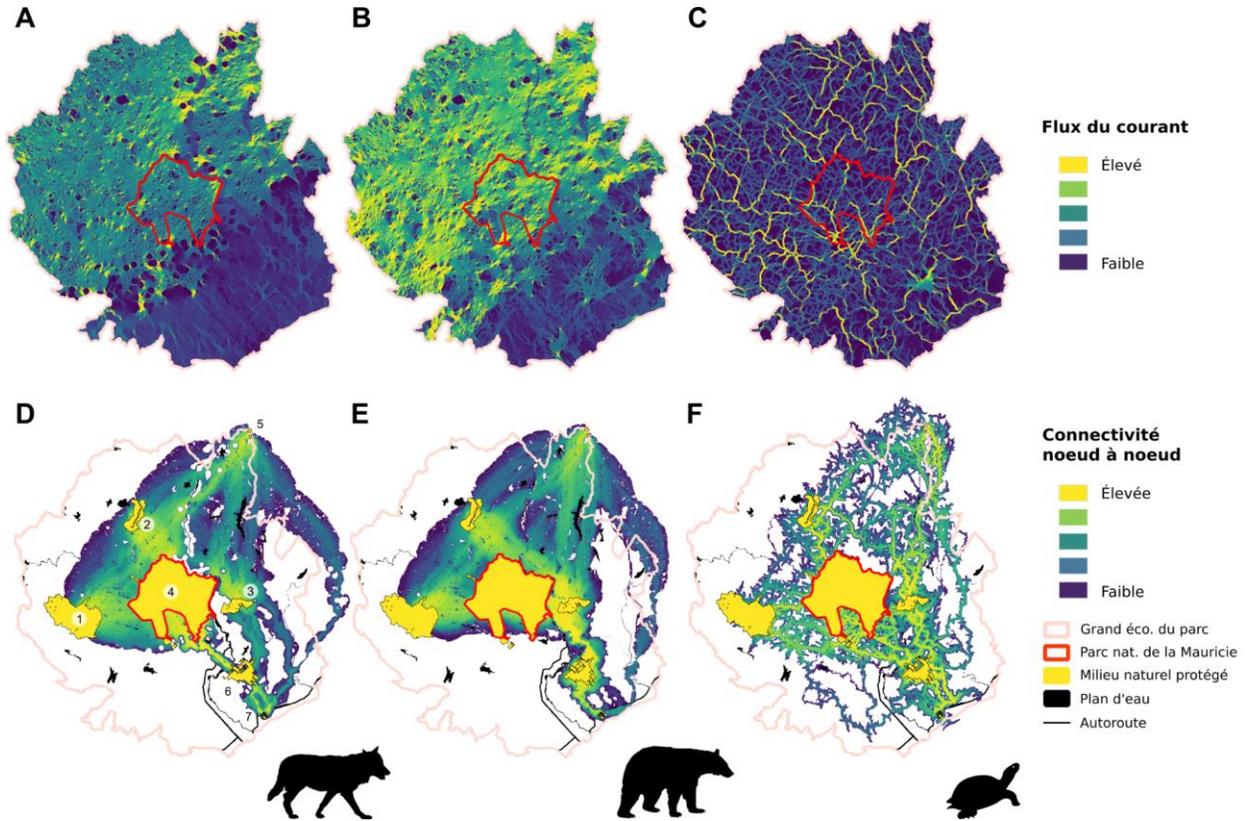


Figure 12. Cartographie de l'indice de flux du courant, ainsi que la connectivité nœud à nœud pour le loup de l'Est (A, D), l'ours noir (B, E) et la tortue des bois (C, F) au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Les parcs indiqués à l'aide des numéros sont les suivants: 1) Réserve de biodiversité projetée des Basses-Collines-du-Lac-au-Sorcier, 2) Réserve de biodiversité projetée de la Vallée-Tousignant, 3) Réserve de biodiversité projetée de Grandes-Piles, 4) Parc national de la Mauricie, 5) Réserve de biodiversité projetée du Lac-Wayagamac, 6) Réserve naturelle de la Tourbière-du-Lac-à-la-Tortue et Réserve écologique de Lac-à-la-Tortue, 7) Tourbière Red Mill. Les parties en blanc des cartes D, E et F pour l'analyse de connectivité nœud à nœud représentent l'absence de corridors de déplacement potentiels.

Dans le cas de l'ours noir, les patrons de connectivité ressemblent globalement à ceux du loup de l'Est (figure 12B et E). L'ours noir est toutefois généraliste et moins sensible à l'activité humaine. Il est donc plus à même de traverser des territoires que le loup de l'Est n'aurait pas fréquentés, comme la partie anthropisée au sud de l'aire d'étude. Il peut ainsi favoriser un chemin qui évite le lien entre les villes de Shawinigan et Grand-Mère pour se déplacer entre le point #4 à le point #6 (figure 12E). Par ailleurs, **un corridor faunique potentiel qui**

s'étend le long d'un axe est-ouest de Saint-Prospér-de-Champlain jusqu'à Notre-Dame-du-Mont-Carmel ressort parmi les résultats (figure 12B). Ces corridors lient le massif boisé du nord avec les îlots boisés dans le sud.

Pour la tortue des bois, son réseau de connectivité se limite essentiellement aux milieux naturels qui bordent les cours d'eau (figure 12C et F). Au centre de ce réseau se trouve la réserve naturelle de Tortue-des-Bois-de-la-Shawinigan et à partir de cette parcelle d'habitat, un réseau composé de nombreuses rivières rayonne dans de multiples directions. La réserve naturelle de la tourbière du Lac-à-la-Tortue représente également une parcelle d'habitat importante dans le réseau, mais ce territoire est quelque peu isolé du reste du réseau hydrique. L'abondance de cours d'eau de la région fait tout de même en sorte que les corridors pour la tortue des bois peuvent généralement suivre les mêmes trajectoires que les autres espèces, et relier les différentes aires protégées (figure 12F). Les rivières Batiscan, de Saint-Léon-le-Grand, du Loup et Matawin facilitent par exemple le mouvement potentiel de la tortue des bois au sein du territoire du Grand écosystème du parc national de la Mauricie.

En ce qui concerne la martre d'Amérique, son réseau de connectivité se distingue des autres espèces dans la mesure où **les milieux naturels du PNLM se trouvent au centre du réseau**. Un corridor de déplacement potentiel se trouve au nord du PNLM dans la MRC Mékinac, permettant ainsi l'accès au reste du territoire sur un axe nord-sud et un axe secondaire est-ouest vers la MRC de La Tuque. Comme cette espèce est plus sensible aux coupes forestières que le loup de l'Est ou l'ours noir, on remarque que le flux du courant est moins diffus que pour ces deux espèces. Un réseau d'habitats convenables à la martre se trouve à l'ouest du PNLM, à la hauteur de la MRC Matawinie, qui est faiblement connecté au reste du réseau. La partie sud (surtout les MRC de Shawinigan, Les Chenaux, et Trois-Rivières) se distingue en ayant des valeurs de connectivité généralement plus faibles. Les milieux naturels de cette zone sont faiblement connectés par rapport aux milieux naturels dans le nord du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. En termes des déplacements à longue distance, et par exemple entre le point #5 et le point #7, plusieurs corridors se présentent pour la martre d'Amérique, suivent la distribution spatiale des forêts conifères et certains obstacles (par ex. les cours d'eau, les coupes forestières ou les autoroutes).

Les résultats pour la salamandre cendrée ressemblent à ceux de la martre et se distinguent des autres espèces avec une meilleure connectivité dans la partie sud du territoire (figure 13B et D). En effet, un plus grand nombre de milieux naturels y sont considérés comme des habitats potentiels pour cette espèce. Les milieux naturels au nord sont quant à eux très fragmentés en raison des coupes forestières répandues qui caractérisent cette partie du territoire. Plusieurs corridors traversent les sections nord et sud du PNLM, et des zones de concentration élevée de flux du courant se trouvent dans les MRC de Maskinongé et de Mékinac. Les données géomatiques issues des analyses peuvent servir à identifier des barrières tels que les cours d'eau et les autoroutes qui sont peu propices au mouvement de l'espèce, ainsi que les corridors de déplacement à conserver pour favoriser la connectivité du paysage (figure 13D).

Globalement, les résultats de ces analyses mettent en évidence les corridors hydrologiques et terrestres permettant le déplacement des espèces dans la région et notamment entre des points névralgiques tels que les aires protégées du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. La carte synthèse (figure 14) représente la superposition des corridors de déplacement des cinq espèces individuelles. Elle caractérise les corridors ayant le plus haut potentiel de déplacement dans le paysage. Cette carte pourrait servir à établir un réseau d'aires protégées interconnectées au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie et d'identifier les zones dans le paysage à restaurer afin de soutenir les déplacements des espèces.

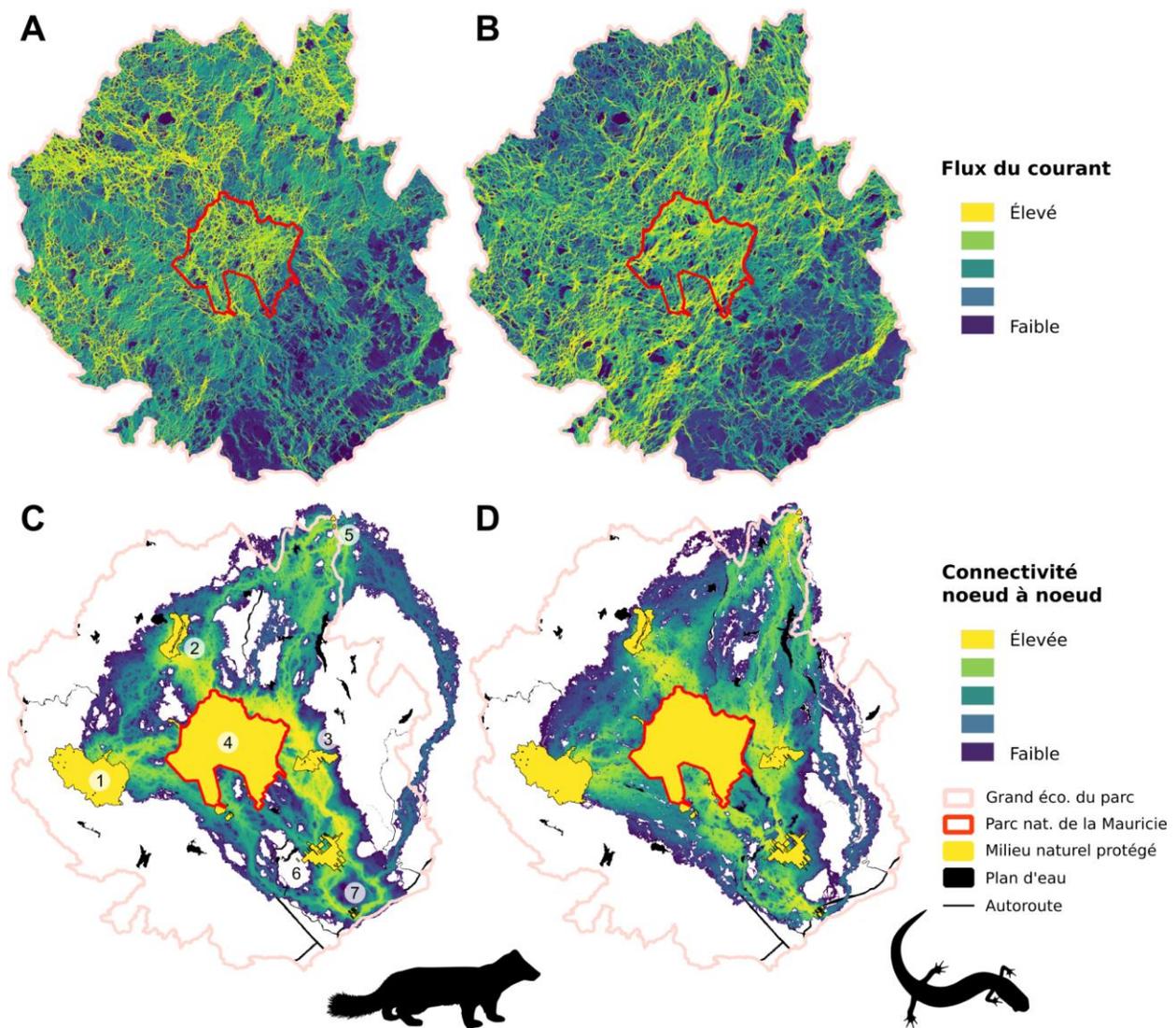


Figure 13. Cartographie de l'indice de flux du courant, ainsi que la connectivité nœud à nœud pour la martre d'Amérique (A, C) et la salamandre cendrée (B, D) au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Les parcs indiqués à l'aide des numéros sont les suivants: 1) Réserve de biodiversité projetée des Basses-Collines-du-Lac-au-Sorcier, 2) Réserve de biodiversité projetée de la Vallée-Tousignant, 3) Réserve de biodiversité projetée de Grandes-Piles, 4) Parc national de la Mauricie, 5) Réserve de biodiversité projetée du Lac-Wayagamac, 6) Réserve naturelle de la Tourbière-du-Lac-à-la-Tortue et Réserve écologique de Lac-à-la-Tortue, 7) Tourbière Red Mill. Les parties en blanc des cartes D, E et F pour l'analyse de connectivité nœud à nœud représentent l'absence de corridors de déplacement potentiels.

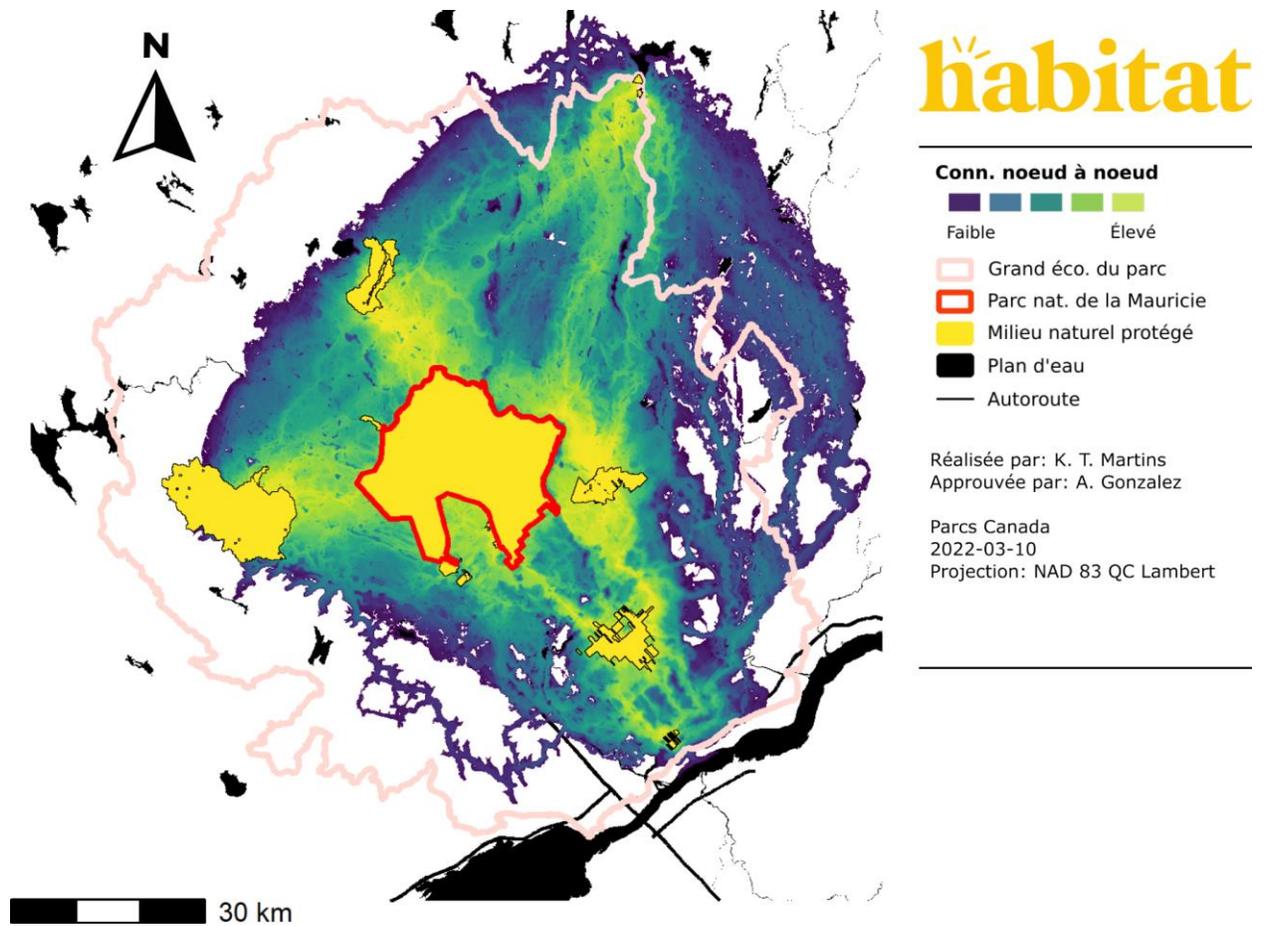


Figure 14. Carte synthèse de l'analyse de connectivité nœud à nœud superposant les corridors de déplacement pour les cinq espèces.

3.4 Identification des corridors de déplacement prioritaires par une analyse de priorisation spatiale au sein du Grand écosystème du parc national de la Mauricie

Dans le cadre de ce projet, les corridors prioritaires à la connectivité écologique du Grand écosystème du parc national de la Mauricie ont été identifiés en tenant compte de leur cote globale de connectivité à l'échelle du territoire, et ce, pour les cinq espèces focales étudiées (loup de l'Est, ours noir, tortue des bois, martre d'Amérique et salamandre cendrée). L'importance et la priorisation de ces territoires ont été déterminées en fonction des indices précédemment calculés, c'est-à-dire l'IQH, le flux du courant, la centralité intermédiaire (présentée en annexe) et les corridors de déplacement. L'agrégation de ces indices en une couche de priorisation permet en outre d'identifier des milieux utilisés comme corridors de déplacement par plusieurs des espèces étudiées, illustrant ainsi leur grande valeur au sein du territoire. Cette superposition d'informations relatives à l'habitat et au déplacement des espèces permet également de localiser les milieux naturels d'importance autour des aires protégées existantes, mais aussi les corridors pour lesquels des interventions de restauration seraient bénéfiques afin d'améliorer la connectivité entre différentes parcelles d'habitat.

Nos analyses démontrent une forte hétérogénéité spatiale des milieux naturels en termes de valeur pour la connectivité. La plus grande concentration de milieux à forte valeur se retrouve ainsi au centre et dans le nord du territoire d'étude, ce qui correspond à des espaces composés majoritairement de massifs boisés peu fragmentés (figure 15).

À l'ouest, au nord et à l'est du PNLN, on note ensuite que plusieurs milieux boisés possèdent une valeur de connectivité élevée, en partie due au fait qu'ils relient le parc national de la Mauricie avec les aires protégées avoisinantes. Ces milieux naturels tendent également à suivre les contours des cours d'eau, ce qui pourrait faciliter les déplacements de la tortue des bois et d'espèces aux mêmes besoins. Ils se superposent aux corridors de déplacement identifiés comme prioritaires par les analyses de connectivité pour le loup de l'Est et l'ours noir, évitant ainsi les zones fortement anthropisées et les territoires de coupes forestières. Certains secteurs sujets à des interventions sylvicoles ont d'ailleurs reçu une faible priorité de conservation en raison de leur impact nuisible sur la connectivité du paysage pour la martre d'Amérique et la salamandre cendrée notamment.

La partie sud du Grand écosystème du parc national de la Mauricie est caractérisée par un faible couvert forestier, et les îlots qui y demeurent sont peu connectés pour des espèces sensibles à la présence humaine (ex. le loup de l'Est). Cependant, ce secteur est caractérisé par plusieurs milieux naturels de valeur importante pour la tortue des bois, la salamandre cendrée et même la martre d'Amérique. La conservation de ces milieux pourrait servir à établir un réseau connecté de milieux naturels protégés, permettant notamment de relier la réserve naturelle de Tortue-des-Bois-de-la-Shawinigan, la réserve naturelle de la tourbière du Lac-à-la-Tortue et la tourbière Red Mill. Ces corridors représentent des points névralgiques pour la connectivité, mais ils deviendront aussi fortement soumis à la pression croissante de développement ou de transformation agricoles. Les simulations qui seront effectuées lors du Volet 2 du projet serviront à quantifier l'impact de la perte de ces milieux naturels sur l'intégrité du réseau en entier et, donc, souligner leur importance pour la connectivité dans un secteur fortement anthropisé. Cela aidera à identifier où intervenir aujourd'hui de manière stratégique afin de garantir la connectivité du paysage à long terme, face aux changements globaux.

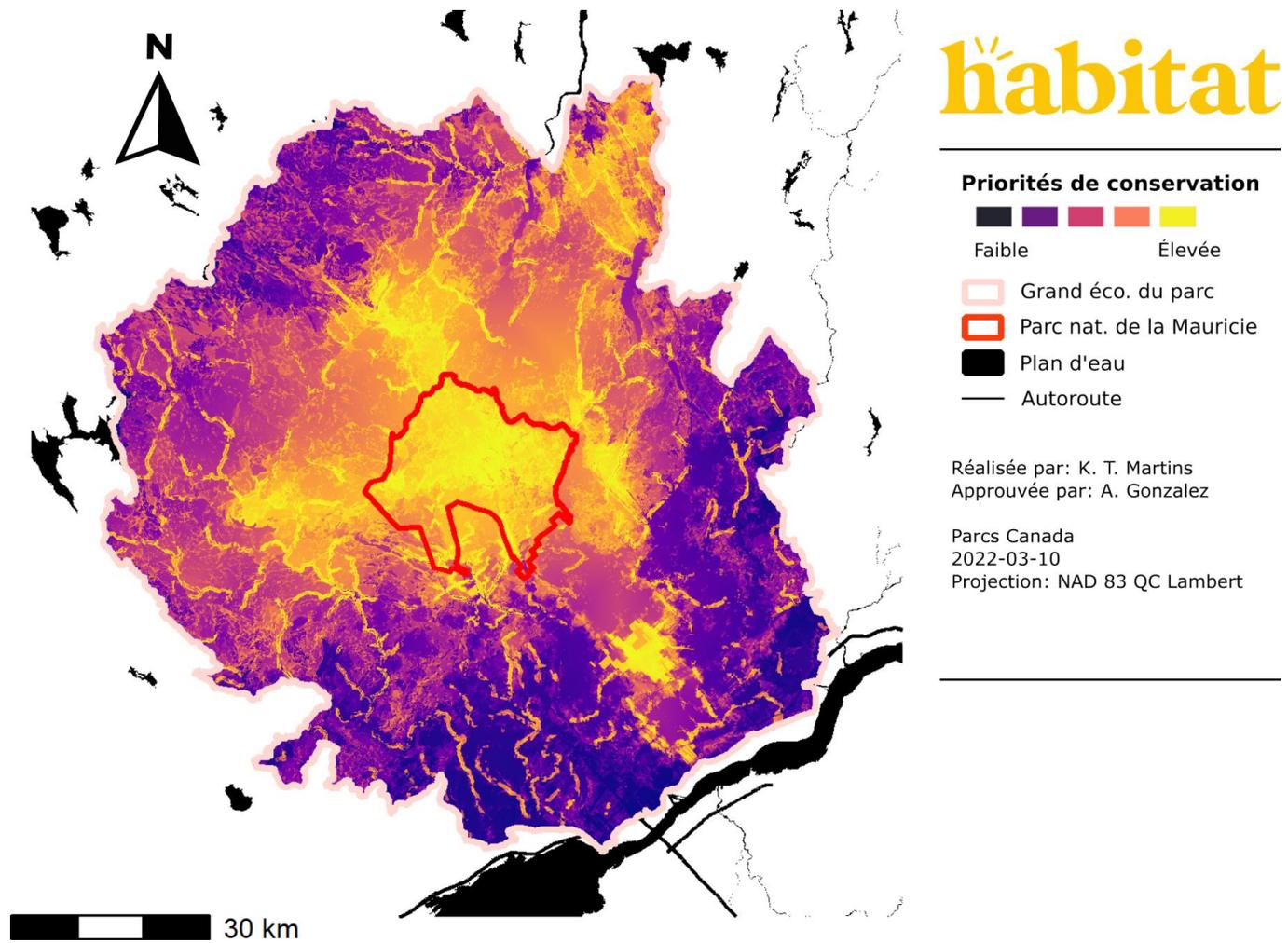


Figure 15. Cartographie des priorités de conservation selon les analyses de l'IQH, le flux du courant, la centralité intermédiaire (présentée en annexe) et la connectivité nœud à nœud.

3.5 Évaluation de la résilience et de la vulnérabilité des forêts du parc national de la Mauricie (volet 3)

Dans l'optique de promouvoir un avenir durable de nos forêts et de la biodiversité qu'elles abritent, ce volet vise à fournir des orientations et des recommandations pour l'aménagement du parc national de la Mauricie et a pour objectif d'améliorer la résilience de ses écosystèmes forestiers face aux changements globaux. Autrement dit, cette approche vise à favoriser la capacité des écosystèmes forestiers à se remettre suite à une perturbation, de façon à maintenir les fonctions écologiques qu'ils fournissent actuellement, incluant les nombreux services écosystémiques qu'ils rendent à la société et leur rôle d'habitat pour la biodiversité.

Ce volet dresse ainsi le portrait de la résilience des forêts du PNLM sur la base de deux analyses complémentaires : l'évaluation de la **diversité fonctionnelle** et l'analyse de la **vulnérabilité des espèces** face aux menaces biotiques et abiotiques.

Après un aperçu du contexte écologique des forêts du PNLM, cette section présente la vulnérabilité face aux principales menaces biotiques et abiotiques préoccupantes pour le PNLM, la vulnérabilité des peuplements matures et la vulnérabilité des peuplements situés dans les secteurs à forte valeur de conservation pour la connectivité. Des recommandations émergeant de l'ensemble de ces analyses sont finalement synthétisées en fin de section.

3.5.1 Contexte écologique des forêts du parc national de la Mauricie

3.5.1.1. Prévisions climatiques

Selon les prévisions climatiques d'Ouranos (2021), la moyenne de la température quotidienne en Mauricie va augmenter dans les prochaines décennies. Ces changements pourraient entraîner l'augmentation de la fréquence d'événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses et favoriser la propagation d'espèces exotiques envahissantes. Regroupées sous le terme de changements globaux, ces menaces pourraient entraîner des conséquences néfastes sur les écosystèmes forestiers du PNLM et les espèces qu'ils abritent, ainsi que sur la production de services écosystémiques (Matthews et al. 2011; Lovett et al. 2016; Brandt et al. 2017).

3.5.1.2. Composition des forêts du parc national de la Mauricie

Selon les données de l'IEQM (MFFP 2021), les peuplements forestiers du parc national de la Mauricie sont composés à 47 % de forêts mixtes, 40 % de forêts feuillues et 13 % de forêts de conifères (tableau 1, figure 16). Globalement, le sapin baumier (*Abies balsamea*) représente de loin l'espèce la plus omniprésente dans l'ensemble des forêts du parc, occupant environ le quart de la surface terrière totale des forêts (tableau 2). Ensuite, l'épinette rouge (*Picea rubens*), l'érable à sucre (*Acer saccharum*), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) et l'érable rouge (*Acer rubrum*) occupent des parts relativement égales de la surface terrière des forêts, occupant à elles quatre environ la moitié de celle-ci. Le dernier quart est représenté par plusieurs espèces secondaires, telles que le bouleau blanc (*Betula papyrifera*), le thuya occidental (*Thuja occidentalis*) et d'autres espèces présentées dans le tableau 2. Le tableau 2 présente également le pourcentage occupé par les différentes espèces dominantes pour chaque type de couvert forestier. Par exemple, dans les peuplements feuillus, c'est l'érable à sucre qui occupe la plus grande proportion avec 9,9 % de la surface terrière de ces peuplements. Dans les peuplements mixtes, c'est le sapin baumier qui est le plus représenté avec 14,5% de la surface terrière et dans les peuplements résineux, il s'agit de l'épinette rouge et du sapin baumier qui occupent respectivement 4,6 % et 4,0 % de la surface terrière de ces peuplements (tableau 2).

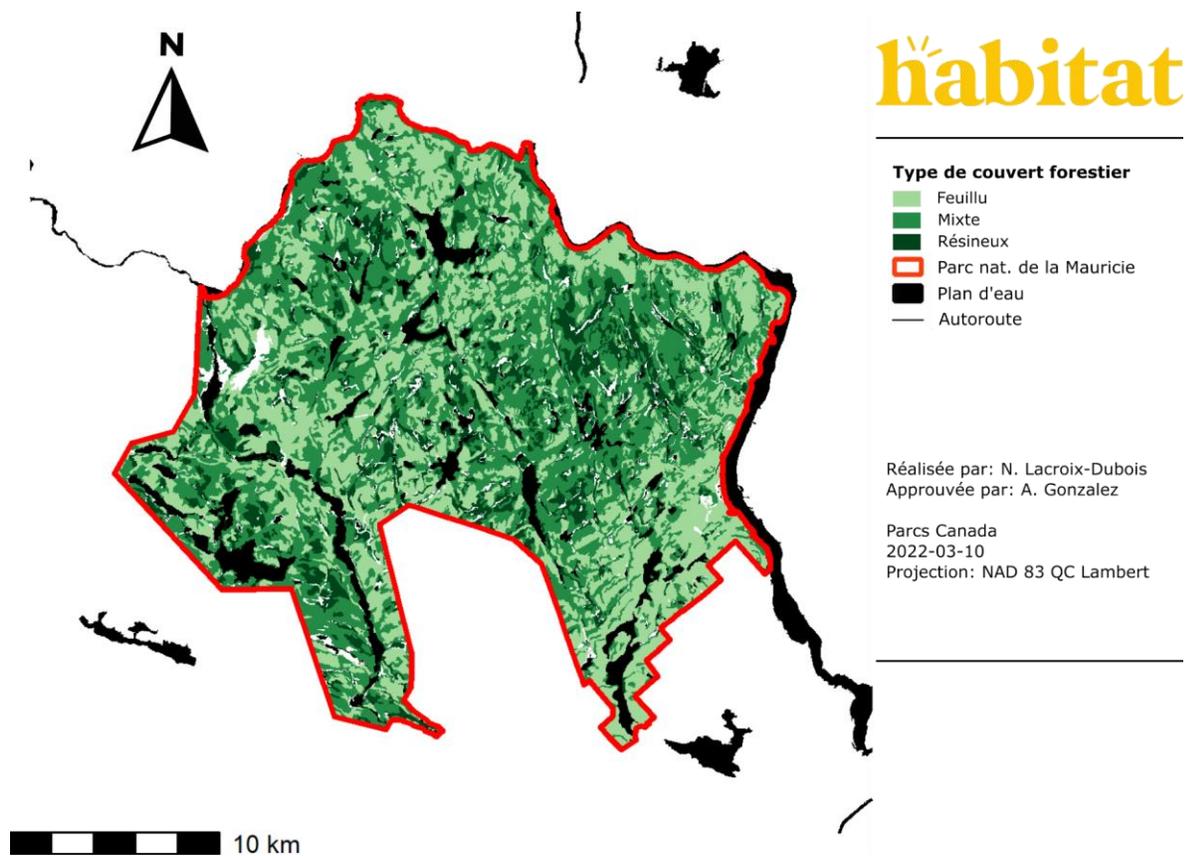


Figure 16. Cartographie des différents types de couvert des peuplements forestiers du parc national de la Mauricie.

Tableau 2. Synthèse des espèces arboricoles dominantes au sein du parc national de la Mauricie et des surfaces terrières (% ST) qu’elles occupent par type de couvert forestier et pour l’ensemble du parc.

Nom commun	Nom latin	% ST – feuillus	% ST – mixte	% ST- résineux	% ST - Total
Sapin baumier	<i>Abies balsamea</i>	6,2	14,5	4,0	24,7
Épinette rouge	<i>Picea rubens</i>	1,4	7,2	4,6	13,2
Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i>	9,9	2,2	0,1	12,2
Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i>	4,7	6,6	0,5	11,8
Érable rouge	<i>Acer rubrum</i>	4,6	6,1	0,8	11,5
Bouleau blanc	<i>Betula papyrifera</i>	3,1	4,5	0,7	8,3
Thuja occidental	<i>Thuja occidentalis</i>	1,3	4,0	1,0	6,3
Épinette blanche	<i>Picea glauca</i>	1,1	2,1	0,5	3,7
Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i>	2,3	0,7	0,0	3,0
Pin blanc	<i>Pinus strobus</i>	0,2	0,5	0,4	1,1
Autres	-	1,5	1,6	1,1	4,2
Total		36,3	50,0	13,7	100,0

3.5.2 Répartition inégale de la diversité des forêts au sein du territoire

L’évaluation de la diversité fonctionnelle d’un territoire permet de déterminer si les caractéristiques biologiques (ex. densité du bois, tolérance à la sécheresse) des espèces d’arbres recensées sur le territoire sont suffisamment diversifiées, partant du principe que ces caractéristiques déterminent la façon dont les espèces d’arbres vont répondre et s’adapter aux conditions environnementales (annexe G). Une forêt composée d’espèces d’arbres fonctionnellement différentes, ayant des tolérances et vulnérabilités diversifiées, pourra mieux s’adapter au plus grand nombre de stress possible et sera donc plus résiliente face aux changements globaux. L’analyse de la diversité fonctionnelle se base sur les travaux de Paquette et al. (2021) et d’Aquilué et al. (2021) et les résultats sont illustrés à la figure 17 ci-dessous. Comme la diversité fonctionnelle varie naturellement en fonction du type de couvert du peuplement (c.-à-d. entre des peuplements feuillus, résineux ou mixtes), le gradient de diversité

fonctionnelle a été adapté à chacun des types de couvert en fonction des données du territoire, de même que le seuil sous lequel un peuplement est considéré avoir une « faible » diversité fonctionnelle¹.

La figure 17 illustre le niveau de diversité des peuplements du PNLM, en se basant sur le gradient propre à leur composition : un peuplement feuillu ayant reçu un indice inférieur à la valeur de la médiane (dans ce cas 2,63) est donc dit faiblement diversifié. On observe une répartition hétérogène de la diversité fonctionnelle des peuplements forestiers. Plusieurs peuplements longeant le lac Wapizagonke jusqu'au nord du PNLM semblent relativement diversifiés. Par contre, une certaine concentration de peuplements peu diversifiés peut être observée vers le centre et dans l'est du PNLM (entre le lac Édouard et le lac des Cinq), les rendant potentiellement plus vulnérables aux menaces. Des interventions ayant pour objectif d'améliorer la résilience des forêts face à des perturbations futures préconiseraient une approche basée sur la diversification fonctionnelle pour favoriser la capacité des forêts à faire face à différentes perturbations, et ce, particulièrement dans les peuplements faiblement diversifiés.

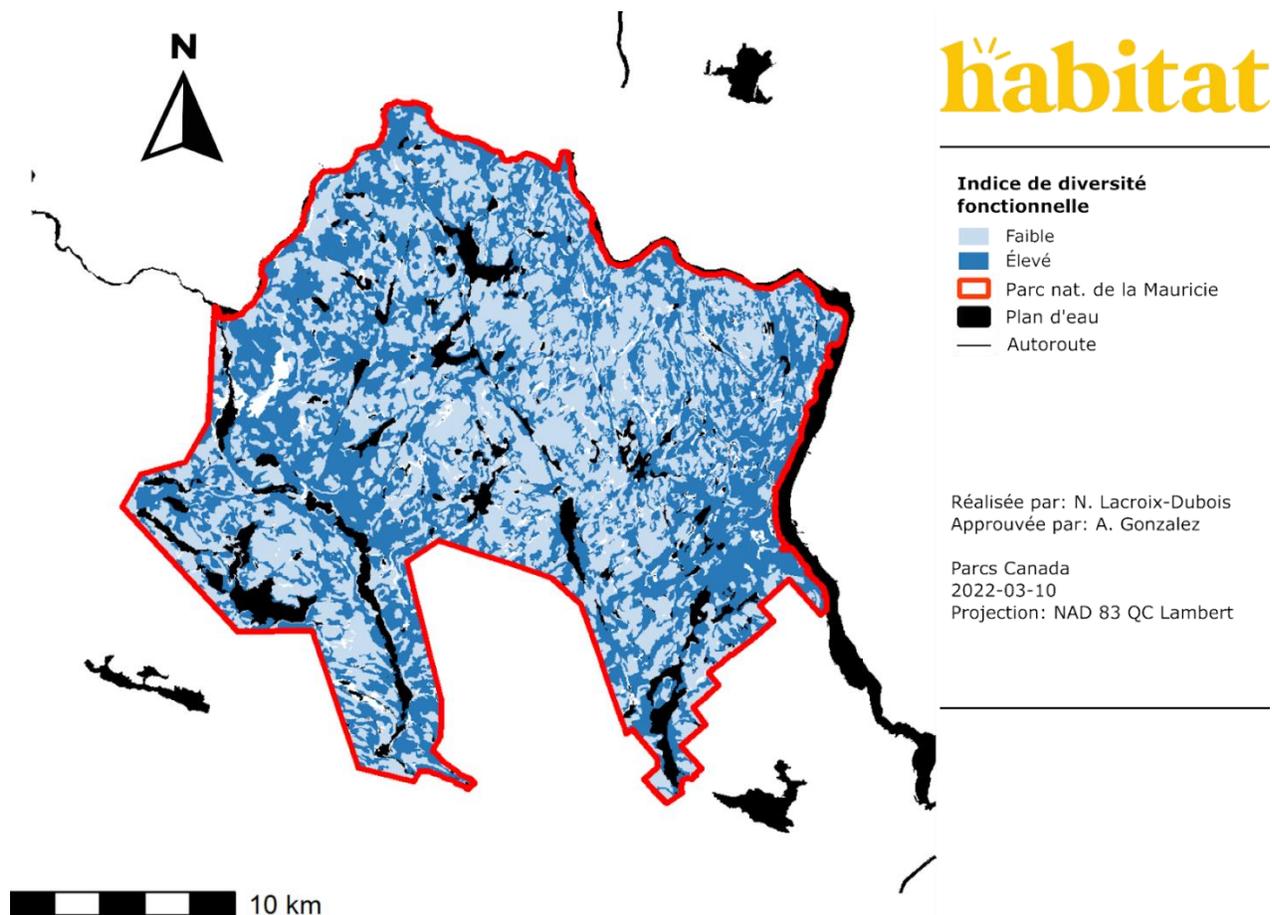


Figure 17. Cartographie de l'indice de diversité fonctionnelle des peuplements forestiers du parc national de la Mauricie. Les indices ont été adaptés pour chaque type de couvert forestier. Les peuplements faiblement diversifiés sont donc ayant reçu un indice inférieur à la valeur de la médiane correspondant à leur composition (Peuplement

¹ Pour caractériser le niveau de diversité fonctionnelle de chaque type de peuplement, nous nous sommes basés sur la médiane de l'indice de diversité correspondant à chacun des peuplements. Peuplement feuillu = 2,63 ; Peuplement mixte = 2,55 ; Peuplement résineux = 1,70. La valeur maximale de l'indice pour tous les peuplements (correspondant à une diversité optimale) est de 6.

feuillu = 2,63 ; Peuplement mixte = 2,55 ; Peuplement résineux = 1,70), tandis que les peuplements diversifiés sont ceux ayant reçu un indice supérieur à la valeur de la médiane.

3.5.3 Vulnérabilités des peuplements forestiers du parc national de la Mauricie

Dans le cadre de ce projet, l'analyse de vulnérabilité aux menaces biotiques se base sur les 5 menaces suivantes, décrites dans le tableau 3, jugées les plus préoccupantes pour le PNLM²:

- La maladie corticale du hêtre
- La rouille vésiculeuse du pin blanc
- Le puceron lanigère du sapin
- Longicorne asiatique
- Spongieuse asiatique

Tableau 3. Liste et description des 5 menaces biotiques retenues pour l'analyse de vulnérabilité et des dommages potentiels (voir l'annexe G pour une version complète de ce tableau).

Nom commun	Nom latin	Description	Présence au Québec
Maladie corticale du hêtre	<i>Cryptococcus fagisuga</i> + <i>Neonectria coccinea</i> var. <i>faginata</i>	<p>Manifestation: L'insecte <i>Cryptococcus fagisuga</i> Lindinger s'attaque aux hêtres (<i>Fagus</i>) créant des blessures qui peuvent être infectées par le champignon <i>Neonectria coccinea</i> var. <i>faginata</i>.</p> <p>Hôtes: Hêtre à grandes feuilles</p> <p>Impacts: Entraîne i) une diminution de la diversité structurelle via le rajeunissement du peuplement causé par la mort des hêtres matures, ii) une diminution de la diversité spécifique causée par le drageonnement du hêtre qui empêche la régénération d'autres espèces, et iii) la diminution de sources d'alimentation pour des espèces telles que l'ours noir ou le tamia rayé, qui se nourrissent des fruits.</p> <p>Mortalité élevée.</p>	Déjà établie au Québec
Rouille vésiculeuse	<i>Cronartium ribicola</i>	<p>Manifestation: Le champignon <i>Cronartium ribicola</i> J. C. Fischer ex Rabenh cause la maladie en infectant d'abord le tronc, puis en se propageant dans le reste de l'arbre.</p> <p>Hôtes: Pins (<i>Pinus</i>) et notamment le pin blanc (<i>Pinus strobus</i>) au Québec</p>	Déjà établie au Québec

² La liste des 16 menaces biotiques d'intérêt pour le PNLM (issue des travaux de Lovett et al. (2016) et Brandt et al. (2017)) est fournie en annexe G, avec les critères utilisés pour sélectionner les 5 espèces les plus préoccupantes.

Nom commun	Nom latin	Description	Présence au Québec
		<p>Impacts: Affaiblit et cause la mortalité des pins blancs, entre 4 et plus de 20 ans après l'infection (MFFP 2019). Peut exacerber la raréfaction du pin blanc au Québec.</p> <p>Mortalité élevée.</p>	
Puceron lanigère du sapin	<i>Adelges piceae</i>	<p>Manifestation: Puceron succivore qui s'attaque aux sapins en s'insérant dans les tissus de l'arbre de façon permanente.</p> <p>Hôtes: L'entièreté du genre <i>Abies</i>.</p> <p>Impacts: Peut entraîner la mort de sapins matures après quelques années d'infestation sévère, entraînant des dégâts importants dans les peuplements dominés par le sapin (RNC 2015).</p>	En augmentation au Québec
Longicorne asiatique	<i>Anoplophora glabripennis</i>	<p>Manifestation: Insecte qui attaque le bois et l'écorce des arbres infestés, affectant le mécanisme de transport de la sève (RNC 2015).</p> <p>Hôtes: Plusieurs espèces d'arbres dont les érables en particulier, les bouleaux, les peupliers et d'autres feuillus.</p> <p>Impacts: Provoque la mort des arbres affectés. Pourrait entraîner des dégâts majeurs dans les érablières et les peuplements de feuillus.</p>	Pas établie au Québec, mais éradiquée après éclosion en Ontario
La spongieuse asiatique	<i>Lymantria dispar asiatica</i>	<p>Manifestation: Insecte défoliateur qui se nourrit des feuilles des espèces-hôtes (RNC 2015).</p> <p>Hôtes: Plus de 600 espèces de feuillus et de conifères, y compris le chêne, bouleau, peuplier, érable.</p> <p>Impacts: Plus menaçante que la spongieuse européenne, elle se disperse sur de plus grandes distances et à davantage d'espèces hôtes. La défoliation répétée ou combinée à d'autres facteurs de stress peut entraîner la mort.</p>	Pas établie au Québec.

L'analyse de vulnérabilité aux menaces abiotiques se base quant à elle sur les 5 menaces suivantes³ :

- Les sécheresses
- Les inondations
- Le verglas
- Les grands vents
- Les écarts de température

³ Basé sur les travaux de Matthews et al. (2011). Les détails sont fournis à l'annexe G.

Ainsi, les sections suivantes s'intéressent à la répartition et à l'impact possible pouvant être causé par ces dix (10) menaces dans le PNLM.

3.5.3.1 Identification des peuplements les plus vulnérables aux menaces biotiques et abiotiques les plus préoccupantes

Le tableau 3 ci-dessous présente la synthèse des résultats de l'analyse de vulnérabilité des peuplements du PNLM pour les 5 menaces biotiques et les 5 menaces abiotiques jugées les plus préoccupantes. Plus précisément, il détaille la superficie totale de forêts vulnérables à chacune des 10 menaces, selon deux niveaux de vulnérabilité à l'échelle des peuplements : soit les impacts potentiels de la menace pour les peuplements sont moyens et concernent entre 25 et 75 % de leur surface terrière, soit les impacts potentiels sont importants et ciblent plus de 75 % de leur surface terrière.

À l'état actuel, la sécheresse, la maladie corticale du hêtre, la rouille vésiculeuse du pin blanc et le puceron lanigère du sapin sont des menaces à suivre de près (tableau 4) et des impacts sont déjà observés et ressentis dans le PNLM. Bien que pour le moment certains de ces impacts demeurent à petite échelle, ces menaces ont le potentiel d'entraîner des conséquences graves d'un point de vue écologique et économique, via notamment l'altération des dynamiques de régénération ou de la dégradation de la qualité esthétique des forêts.

Tableau 4. Synthèse des superficies touchées par chacune des menaces biotiques et abiotiques considérées préoccupantes pour le parc national de la Mauricie, selon le degré d'impact potentiel, présenté en hectares (ha) et en pourcentage de la superficie des peuplements (%).

	Impacts potentiels moyens (entre 25 et 75% de la ST affectée)		Impacts potentiels élevés (plus de 75% de la ST affectée)	
	Superficie affectée (ha)	Superficie affectée (%)	Superficie affectée (ha)	Superficie affectée (%)
Menaces biotiques				
Spongieuse asiatique	11 068,8	22,6	37 823,4	77,3
Longicorne asiatique	36 189,6	74	4 576,9	9,4
Puceron lanigère du sapin	32 959,7	67,4	1 210,4	2,5
Maladie corticale du hêtre	41,2	0,1	NA	0,0
Rouille vésiculeuse du pin blanc	337,9	0,7	NA	0,0
Menaces abiotiques				
Sécheresses	21 038,0	43,0	24 160,7	49,4
Vents	32 019,4	65,5	3 143,1	6,4
Inondations	11 722,2	24,0	597,2	1,2
Écarts de température	42 799,7	87,5	562,4	1,2
Verglas	1 316,6	2,7	15,5	0,0

Compte tenu de la composition actuelle des peuplements forestiers du PNML, il ressort que l'arrivée potentielle du longicorne asiatique et de la spongieuse asiatique pourrait entraîner des conséquences très importantes pour l'ensemble du couvert forestier, puisque ces deux menaces affectent une grande diversité d'hôtes, dont particulièrement l'érable dans le cas du longicorne et la majorité des feuillus dans le cas de la spongieuse asiatique (tableaux 3 et 4). En effet, le longicorne asiatique pourrait avoir un impact majeur (sur plus de 75 % de la surface terrière des peuplements touchés) pour environ 10 % de la superficie forestière du PNLM, tandis que la spongieuse asiatique pourrait entraîner la défoliation et même la mort éventuelle (dans certains cas) d'une majorité des arbres dans plus de 77 % des peuplements du parc.

Les résultats de nos analyses révèlent que les menaces biotiques sont plus préoccupantes à l'échelle du parc national de la Mauricie que les menaces abiotiques. Davantage de peuplements sont fortement vulnérables à plus d'une menace biotique pouvant avoir un impact sur plus de 75 % du peuplement. Les analyses réalisées

démontrent également que les peuplements affectés par le plus de menaces préoccupantes pour la région sont souvent dominés par ou composés d'érables. Il serait donc important de prioriser les interventions et les ressources pouvant contribuer à améliorer la résilience des peuplements face à ce type de menaces et d'appliquer l'approche de diversité fonctionnelle dans les érablières.

Par ailleurs, les menaces peuvent s'additionner et ces interactions peuvent avoir des conséquences qui se multiplient. Par exemple, dans le cas de la sécheresse et la maladie corticale du hêtre (McCullough et al. 2005), le cumul de ces menaces peut avoir des impacts encore plus importants dans les peuplements affectés. La figure 18 met en évidence les peuplements pouvant être assujettis aux conséquences des interactions de multiples menaces, permettant ainsi d'orienter les endroits où des efforts de suivi et de sensibilisation seraient particulièrement bénéfiques. On constate une certaine concentration des peuplements potentiellement affectés par 2+ menaces dans le secteur du lac Wapizagonke, particulièrement son flanc est, qui est d'ailleurs fortement convoité par des activités récréotouristiques, aspect pouvant ajouter des facteurs de stress additionnels.

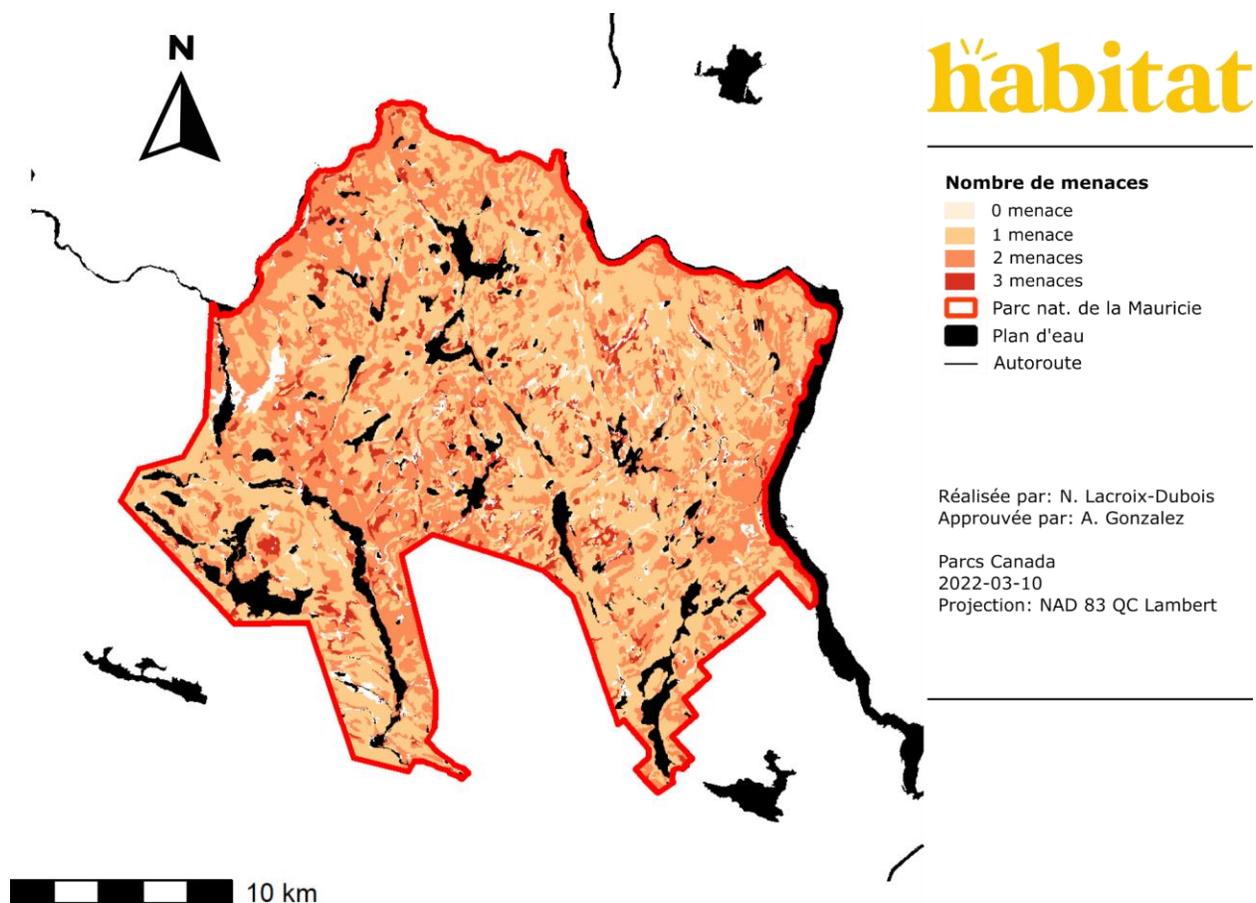


Figure 18. Répartition des peuplements les plus vulnérables, en fonction de la somme des menaces préoccupantes les affectant à plus de 75 %.

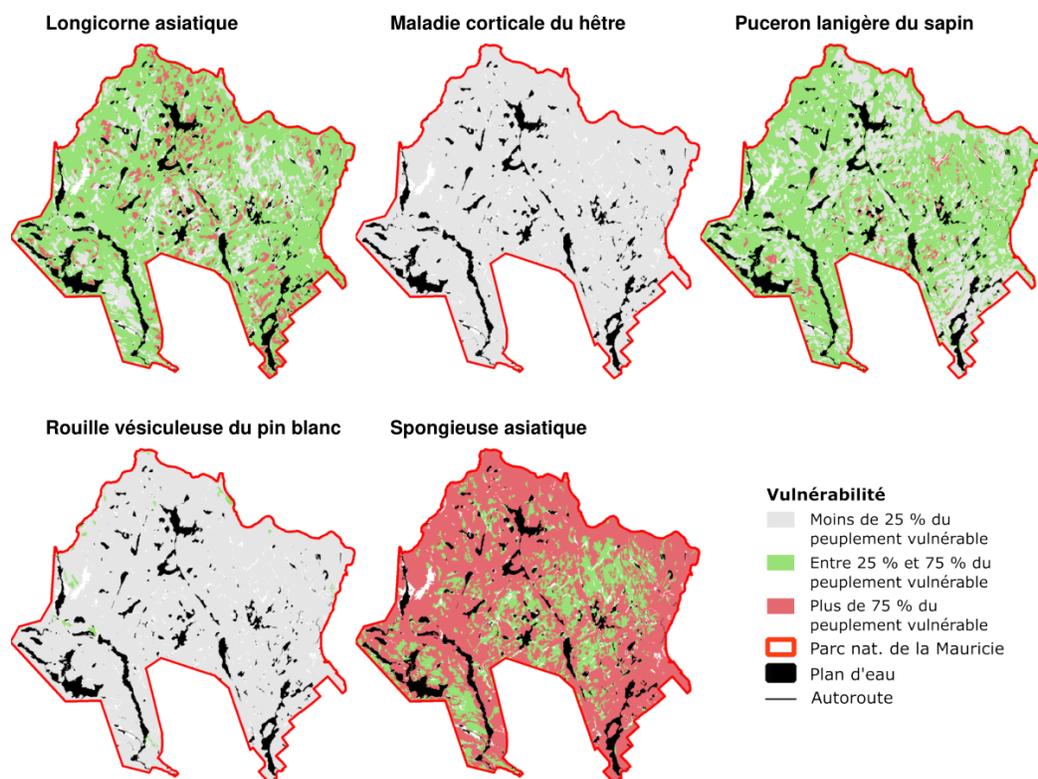


Figure 19. Répartition des peuplements forestiers dans le PNLM en fonction de leur niveau de vulnérabilité (selon le pourcentage (%) de la surface terrière potentiellement affectée dans chaque peuplement) pour chacune des menaces biotiques jugées préoccupantes dans le PNLM. Les peuplements affectés à moins de 25% de leur surface terrière sont considérés peu vulnérables (gris), ceux affectés de 25 à 75% de leur surface terrière sont considérés pouvoir subir des impacts modérés (vert) et ceux affectés à plus de 75% de leur surface terrière sont considérés pouvoir subir des impacts majeurs (rose).

Parmi les 10 menaces biotiques et abiotiques jugées préoccupantes pour le PNLM, les figures 19 et 20 mettent particulièrement en évidence les impacts potentiellement répandus de la spongieuse et du longicorne asiatiques, et de la sécheresse. En effet, les analyses démontrent que la quasi-totalité des peuplements forestiers pourrait être sujette à des épisodes de défoliation par la spongieuse asiatique, phénomène pouvant avoir des conséquences indésirables sur la qualité esthétique des forêts (figure 19). Par ailleurs, les impacts de ces défoliations pourraient facilement s'additionner aux stress hydriques associés aux épisodes de sécheresses prévues pour la région et les effets pourraient être particulièrement néfastes dans le secteur récréatif du lac Wapizagonke (figure 19). L'arrivée potentielle du longicorne asiatique est également préoccupante : la quasi-totalité des peuplements forestiers pourrait subir au moins un impact modéré, et plusieurs peuplements suivant une légère concentration dans l'axe nord-sud du parc pourraient l'être de façon importante (figure 19). Quant à elles, la maladie corticale du hêtre et la rouille vésiculeuse ne sont pas à négliger. Quoique ces menaces soient encore concentrées dans de très petites superficies, elles peuvent causer des changements au niveau de la dynamique forestière des peuplements, pouvant avoir des conséquences sur l'écologie de ces forêts (figure 19). Le puceron lanigère du sapin demeure une menace à suivre de près, puisqu'il pourrait impacter plusieurs peuplements en raison de l'omniprésence du sapin baumier; les monocultures étant les plus vulnérables à cette menace (figure 19). Finalement, d'autres menaces abiotiques associées aux prévisions climatiques pour la région (écarts de température, inondations, grands vents, verglas) pourraient constituer

des facteurs de stress additionnels ayant un impact sur la capacité des forêts à se remettre suite à des perturbations. Celles-ci sont soit réparties de façon assez uniforme dans les forêts (écarts de température, vents) ou relativement peu préoccupante en raison de la faible probabilité d'événements prolongés (inondations) ou de la vulnérabilité des espèces forestières à ces menaces (verglas, figure 20).

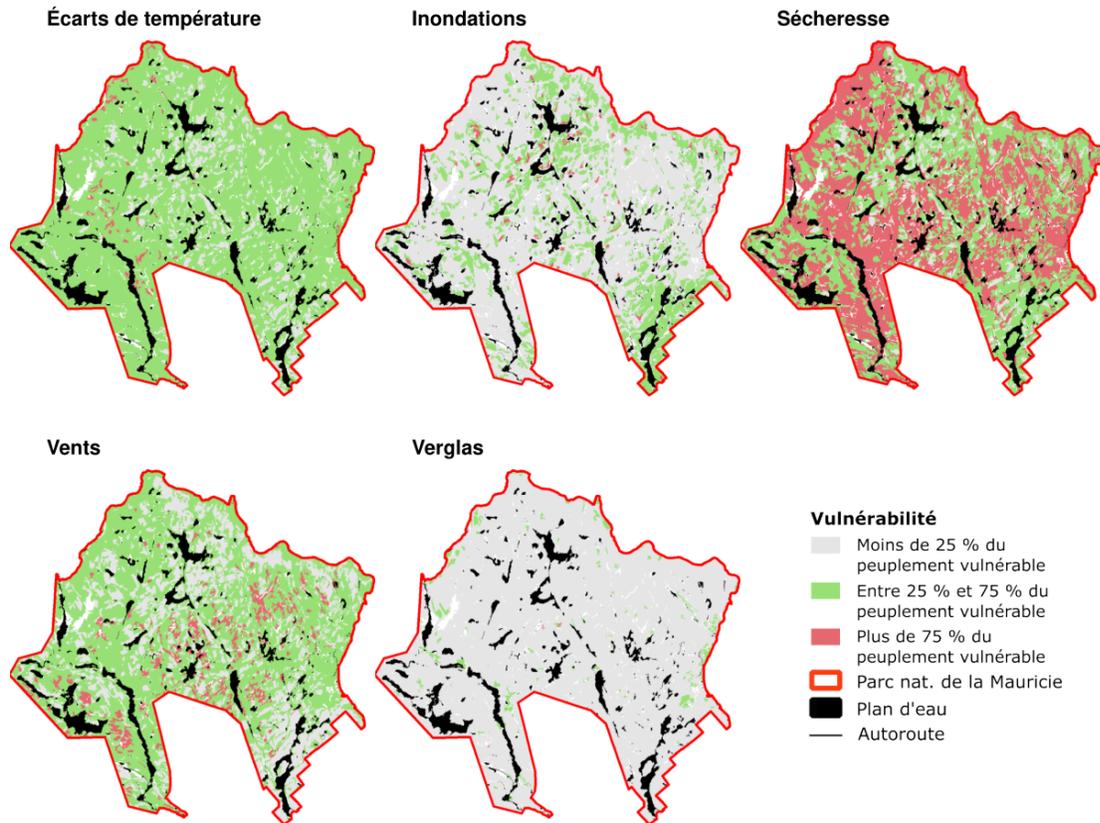


Figure 20. Cartes illustrant la répartition des peuplements en fonction de leur vulnérabilité aux menaces abiotiques préoccupantes pour la région.

3.5.4 Vulnérabilité aux menaces des peuplements matures

La figure 21 ci-dessous correspond à la superposition de la couche localisant les peuplements vulnérables aux menaces (1, 2 ou 3 menaces) à plus de 75 % de leur surface terrière avec la couche des peuplements matures caractérisés par une diversité fonctionnelle faible⁴.

Cette analyse indique que plusieurs peuplements matures sont caractérisés par une faible diversité fonctionnelle en plus d'être susceptibles à 3 menaces parmi les plus préoccupantes pour la région. Ces peuplements se trouvent en particulier dans la portion au nord du territoire, dans les environs du lac des Cinq, et suivant l'axe nord-sud du parc (figure 21). Ce sont dans ces peuplements en particulier que des interventions visant à favoriser la résilience des forêts seront particulièrement bénéfiques, dans l'optique de protéger les forêts matures qui sont souvent très valorisées.

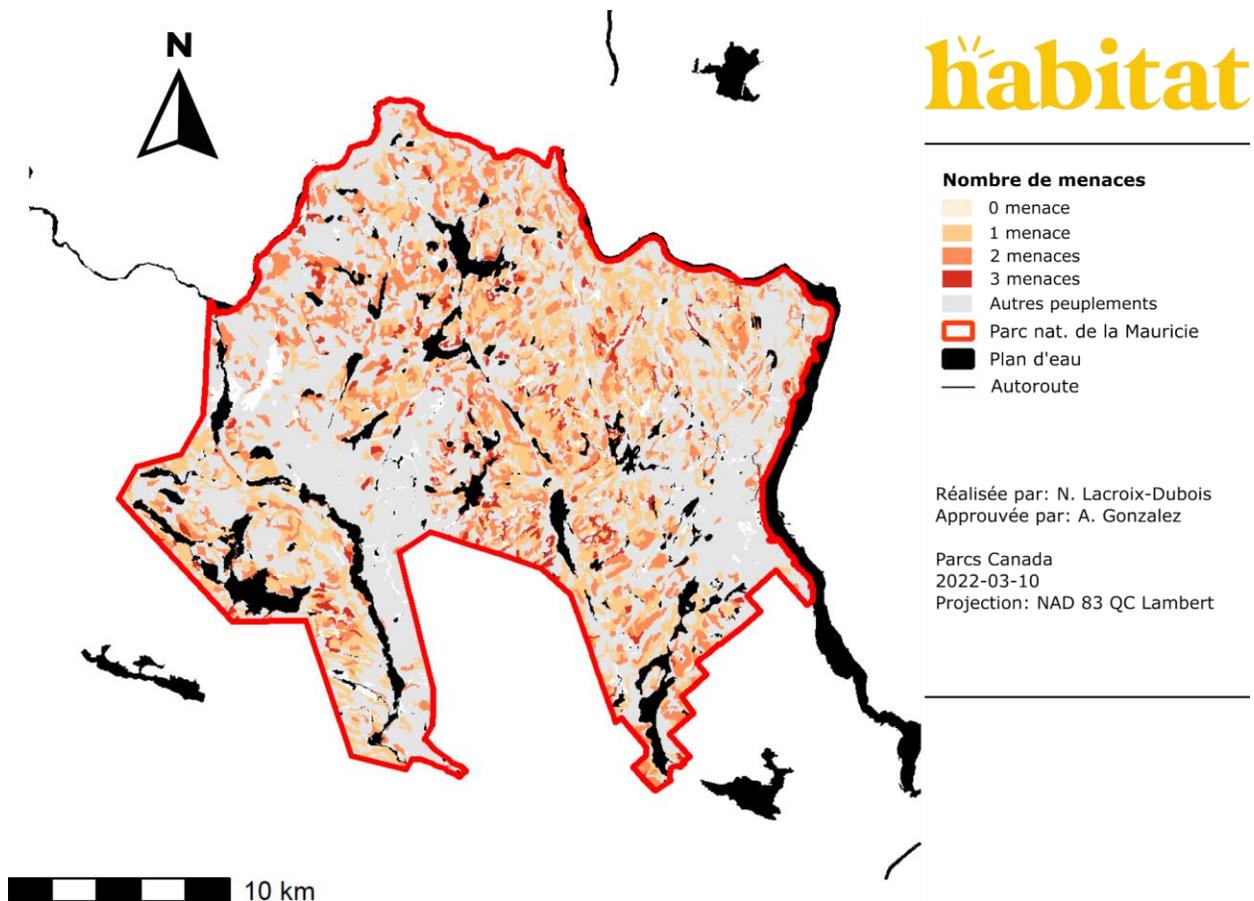


Figure 21. Répartition des peuplements matures (80 ans et plus) peu diversifiés affectés à plus de 75% par des menaces biotiques ou abiotiques préoccupantes pour la région. Les peuplements indiqués en gris ne sont pas matures ou ne sont pas assujettis de façon importante aux menaces sélectionnées.

⁴ Pour rappel, la diversité fonctionnelle d'un peuplement est considérée « faible » lorsque la valeur de l'indice est inférieure à celle de la médiane correspondant à la composition du peuplement.

3.5.5 Peuplements peu diversifiés, vulnérables aux menaces et jouant un rôle important dans la connectivité du territoire

Afin de mieux comprendre l'impact de la vulnérabilité des peuplements forestiers face aux changements globaux sur la connectivité au sein du PNLM, la carte localisant les peuplements les plus à risque (c.-à-d. avec des impacts potentiels affectant plus de 75% de la surface terrière pour au moins une menace et avec une faible diversité fonctionnelle) a été superposée avec la carte de priorisation des corridors de déplacement regroupant les 5 espèces focales étudiées. Ceci a été réalisé dans le but d'anticiper quels secteurs seraient les plus à risque de subir une modification dans la composition et la structure d'âge des peuplements et d'avoir un impact sur le déplacement de certaines espèces.

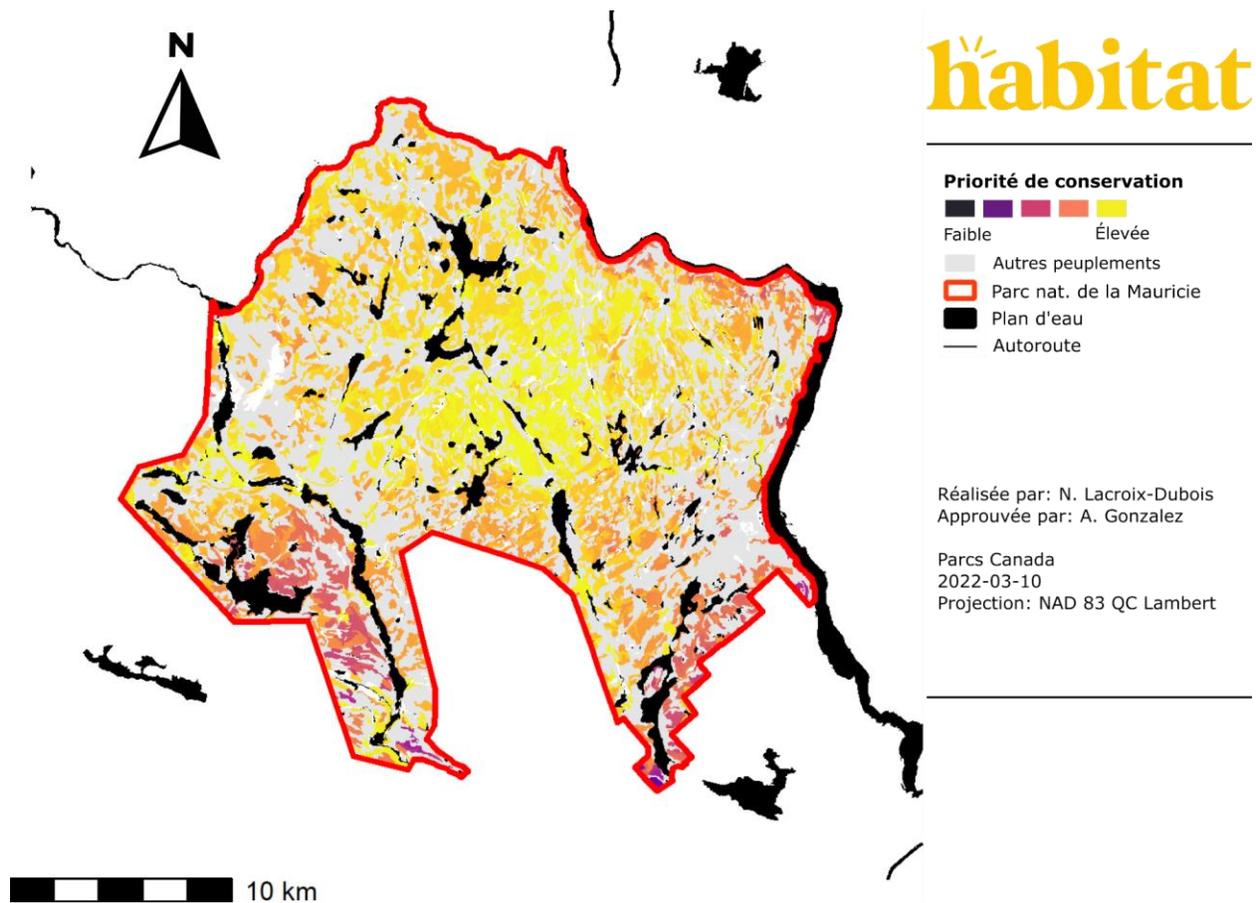


Figure 22. Répartition des peuplements forestiers les plus vulnérables selon leur niveau de priorité pour la conservation de la connectivité. Les peuplements les plus vulnérables sont ceux ayant une valeur de diversité fonctionnelle sous la médiane par type de peuplement (feuillu, mixte, résineux) et étant affectés à plus de 75% par au moins une menace biotique ou abiotique préoccupante. Les peuplements n'étant pas considérés très vulnérables en fonction de ces critères sont indiqués en gris.

Le sud du territoire du PNLM étant fortement anthropisé, les priorités de conservation pour la connectivité se trouvent majoritairement dans le nord du territoire (figure 22). Or, les résultats nous indiquent qu'une plus grande proportion de peuplements peu diversifiés et vulnérables à au moins une menace pouvant affecter plus de 75 % de leur superficie se trouve dans la portion nord-est du territoire. De plus, les secteurs près du lac Wapizagonke représentent des endroits importants pour maintenir les corridors de déplacement dans l'ouest du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Il est donc préconisé de prioriser les interventions axées sur l'amélioration de la résilience dans les secteurs au nord-est du territoire, puisque ces forêts sont les moins diversifiées, les plus vulnérables aux menaces les plus préoccupantes et sont les plus importantes pour la connectivité.

3.5.6 Principales recommandations pour améliorer la résilience des peuplements les plus vulnérables du parc national de la Mauricie

- Se doter d'une bonne connaissance des peuplements caractérisant le parc et implanter ou bonifier les programmes de suivi

Afin d'augmenter la résilience des forêts du PNLM, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des peuplements forestiers du territoire et donc de faire un suivi régulier, à l'aide par exemple de placettes permanentes. Des placettes de ce type seraient déjà présentes sur le territoire, elles pourraient donc être utilisées pour suivre les impacts des maladies, en plus de remplir les objectifs qui leur sont actuellement attribués. D'autres pourraient également être créées ailleurs dans le parc.

- Sensibiliser les usagers du territoire pour augmenter la probabilité d'identification et d'éradication de toute menace recensée

Les changements climatiques et certaines menaces biotiques vont avoir un impact sur la prolifération et l'introduction de nouvelles menaces et leurs interactions pourront avoir des conséquences graves sur la résilience des forêts. Il est donc fortement recommandé de mettre sur pied des programmes de suivi et de sensibilisation afin de déceler la présence de ces nouvelles menaces, ou de suivre leurs impacts. Le site de Ressources Naturelles Canada pourrait être un des outils utilisés pour permettre au public et aux employés de détecter les premiers signes de menace (RNC, 2015). Des exemples d'application de ces programmes comprennent l'établissement de placettes permanentes ou temporaires, des inspections annuelles et la production de matériel de sensibilisation pour les usagers du parc. Comme les secteurs près du lac Wapizagonke sont aussi hautement récréatifs, des mesures particulières visant la sensibilisation du public (ex. feux de camp/sécheresse, transport du bois, identification de pathogènes) y seront importantes.

- Identifier les peuplements les plus vulnérables

Les prévisions climatiques pour la région indiquent que la hausse des températures causerait une augmentation du taux d'évapotranspiration des forêts ce qui devrait accroître la durée et la sévérité des sécheresses. Comme plusieurs peuplements du territoire sont composés d'espèces particulièrement vulnérables à la sécheresse et que plusieurs de ces mêmes peuplements sont aussi menacés par des menaces biotiques, il sera important de suivre et d'intervenir, selon une approche de diversité fonctionnelle, en priorité dans les peuplements les plus vulnérables, c'est-à-dire ceux qui sont à risque de subir des nouvelles perturbations pour lesquelles ils n'ont pas développé de mécanismes de résistance ou d'adaptation.

Il est donc recommandé d'intervenir en priorité :

- Dans les secteurs au nord-est du parc : les forêts y sont peu diversifiées et vulnérables aux menaces pour lesquelles les espèces d'arbres ne sont pas résistantes (les plus préoccupantes). Elles sont par ailleurs importantes pour assurer le maintien des corridors de déplacement continuant au-delà des limites du parc.
 - Dans les peuplements dont les caractéristiques pourraient exacerber les effets de la sécheresse (en haut de pente, sur des sols sablonneux, dans des forêts denses où la compétition pour les ressources en eau est plus importante) ou encore ceux qui, en plus d'être très vulnérables à la sécheresse, sont à proximité de destination de villégiature et de camping. En effet, les feux de camp pourraient poser des dangers importants dans ces secteurs.
 - Dans les peuplements qui subissent ou sont les plus vulnérables à plusieurs menaces combinées : l'addition de multiples facteurs de stress pourrait y causer les impacts les plus importants, notamment dans les secteurs récréotouristiques.
 - Dans les peuplements les plus vulnérables aux 10 menaces biotiques et abiotiques considérées les plus préoccupantes pour le futur du PNLM : principalement ceux dominés par les érables (surtout les érables à sucre) et les bouleaux, puisqu'il s'agit d'espèces particulièrement vulnérables aux sécheresses, aux écarts de température et aux menaces biotiques pour lesquelles elles ne sont pas bien adaptées (ex. spongieuse asiatique et longicorne asiatique).
 - Dans les forêts caractérisées par un manque de représentativité des différents groupes fonctionnels, dans l'optique d'augmenter la diversité et la connectivité fonctionnelles.
- **Intervenir en priorité dans les peuplements les plus vulnérables, selon une approche de diversité fonctionnelle**

Les interventions sylvicoles devraient cibler en priorité les peuplements les plus vulnérables de subir des perturbations pour lesquelles ils n'ont encore pas développé de mécanismes de résistance ou d'adaptation (c.-à-d. les menaces encore peu établies au Québec). Pour ces peuplements, et particulièrement ceux de grande valeur pour le PNLM (ex. forêts matures, forêts près des zones très fréquentées), des interventions sylvicoles comme l'éclaircie pourraient être favorisées pour améliorer la vigueur des arbres qui restent suite à une perturbation. L'éclaircie peut aussi être utilisée pour conserver les espèces qui permettront de maximiser la diversité des groupes fonctionnels ou étant les moins vulnérables aux menaces identifiées pour ces peuplements. En outre, des petites coupes par trouée de diamètre équivalent à au moins la longueur des arbres les plus hauts sont à favoriser lorsque possible. Ces trouées créent des zones où la lumière peut pénétrer et permettent de favoriser la régénération d'espèces de groupes fonctionnels sous-représentés et qui ont besoin de lumière pour s'établir (ex. les chênes, pins, mélèzes, caryer, bouleau). Lors de la plantation de groupes fonctionnels sous-représentés, il serait judicieux de planter les espèces les plus intolérantes à l'ombre au centre et vers le côté nord de la trouée, là où la lumière est la plus importante. L'amélioration de la diversité fonctionnelle via l'éclaircie ou la plantation permet d'augmenter la résistance des espèces déjà présentes, puisque les forêts plus diversifiées assurent davantage de fonctions et maintiennent une plus grande diversité d'organismes, qui peuvent contribuer naturellement au contrôle de pathogènes nuisibles.

- **Intervenir de façon stratégique dans le temps et dans l'espace**

En plus de préconiser une approche basée sur la diversité fonctionnelle, des interventions stratégiques de diversification viseraient aussi à répartir de façon régulière les actions permettant de favoriser la diversité fonctionnelle des forêts, et ce, afin de créer un réseau d'îlots de forêts très diversifiées qui viendrait augmenter la connectivité fonctionnelle globale du parc. **En effet, il est important de favoriser la connectivité fonctionnelle du territoire en diversifiant les espèces d'arbres dans les peuplements les plus centraux (c.-à-d. les mieux connectés) et les plus vulnérables, afin de favoriser à long terme la dispersion des graines et donc le matériel génétique nécessaire à la diversification des fonctions des peuplements adjacents.** L'optimisation des efforts de diversité fonctionnelle permet ainsi d'avoir des impacts bénéfiques au-delà des sites où ces interventions sont réalisées. Par exemple, la diversification des forêts à proximité de vieilles forêts permettrait d'améliorer la diversité de façon indirecte, en favorisant l'introduction d'une diversité d'espèces pouvant s'établir dans ces peuplements suite à une perturbation importante.

4. DISCUSSION

L'approche proposée au sein de ce rapport vise à fournir un portrait complet et objectif de l'état de la connectivité du territoire du Grand écosystème du parc national de la Mauricie, et de l'état de la résilience et de la vulnérabilité des forêts à l'échelle du parc national de la Mauricie face aux menaces biotiques et abiotiques présentes et futures. À cette fin, elle repose d'abord sur la détermination de la qualité de l'habitat pour cinq espèces focales ciblées, soit le loup de l'Est, l'ours noir, la tortue des bois, la martre d'Amérique et la salamandre cendrée. Ensuite, elle consiste en l'évaluation des corridors de déplacement et l'identification des points névralgiques pour le maintien d'un réseau écologique répondant aux besoins des espèces fauniques. L'approche présentée a l'avantage d'être multiscale, c'est-à-dire qu'elle peut être reproduite à l'échelle désirée, en plus d'être robuste et scientifique, puisqu'elle s'appuie sur plusieurs indicateurs pour fournir un résultat optimal des priorités pour la conservation de la connectivité. Dans le cadre de cette étude, l'analyse de la connectivité pour cinq espèces focales, sélectionnées sur la base de leur statut de conservation, leurs différences au niveau de leurs cycles de vie et leur présence au cœur des enjeux environnementaux, permet de fournir un portrait clair de l'état de la connectivité et des corridors prioritaires pour le parc national de la Mauricie. Finalement, dans l'optique de mieux préparer les forêts du parc face aux changements globaux attendus pour la région, ce portrait fournit aussi une évaluation de l'état actuel de la résilience des forêts du parc face à plusieurs menaces qui pourraient s'établir ou augmenter dans les années à venir. Cette approche avant-gardiste permet de cibler les secteurs où des actions préventives pourraient servir à assurer le maintien de la connectivité, et ce, pour faire face aux incertitudes de cette ère sans précédent.

Faits saillants

L'application de cette approche au contexte du parc national de la Mauricie et de son Grand écosystème révèle plusieurs faits saillants permettant d'orienter les stratégies de planification et de gestion de la conservation dans le parc.

Coupure importante entre la connectivité des habitats dans le nord et le sud du territoire

D'abord, le parc se situe au cœur d'une région majoritairement recouverte de forêts dont la composition est principalement mixte, avec une concentration des activités anthropiques dans le sud du territoire, près de

Trois-Rivières. L'activité forestière est importante dans le nord du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. La répartition spatiale de l'occupation des sols se traduit directement au niveau de la mosaïque de connectivité dans le paysage ; la tendance générale issue des analyses indique une coupure presque absolue dans la connectivité des habitats entre la portion nord et la portion sud du territoire, particulièrement pour des espèces comme le loup de l'Est et la martre d'Amérique. Bien que cette tendance soit moins pour la tortue des bois, la majorité des cours d'eau d'importance très élevée pour le déplacement de l'espèce se trouvent dans le nord du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Cette distinction au niveau de l'importance pour la connectivité peut être attribuée presque exclusivement à l'activité humaine, puisque le sud du territoire comprend la plus forte concentration de milieux urbains et agricoles.

Le parc national de la Mauricie, un lien important entre les aires protégées

Les résultats attirent aussi l'attention vers le fait que le parc national de la Mauricie constitue un point central avec les aires protégées avoisinantes et favorise ainsi le déplacement des espèces au sein du territoire du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Ainsi, les pratiques de gestion du territoire visant le maintien et l'amélioration de la connectivité du paysage (surtout avec la partie sud) contribueront également au maintien du réseau régional.

Une planification optimisée pour atteindre des objectifs de conservation plus ambitieux

En somme, l'optimisation des priorités de conservation telle qu'elle a été réalisée permet d'identifier les milieux naturels contribuant le plus à la connectivité en fonction des indicateurs sélectionnés. Une telle analyse optimise la planification de la conservation par rapport aux approches plus conventionnelles puisqu'elle englobe davantage de paramètres, ce qui peut contribuer à la mise en œuvre d'objectifs de conservation optimisés et plus ambitieux. Dans le cas de la présente étude, les résultats des analyses réalisées et de la priorisation des habitats et des corridors de déplacement mettent en valeur l'importance de la portion nord du territoire pour diriger les efforts de conservation actuels et futurs.

Une planification tournée vers l'avenir : l'approche de la diversité fonctionnelle pour favoriser la résilience des peuplements forestiers du parc national de la Mauricie.

Les résultats de nos analyses ont révélé qu'une plus grande proportion de peuplements peu diversifiés et vulnérables à au moins une menace pouvant affecter plus de 75% du peuplement se trouve dans la portion nord-est du PNLN. Or, le nord du territoire a été identifié comme une zone de conservation à prioriser de par la qualité de ses habitats et son rôle important dans la connectivité. **Il est donc recommandé de faire des interventions en priorité au nord du PNLN, basées sur une approche de diversité fonctionnelle, afin d'améliorer la résilience des peuplements forestiers aux changements globaux.** Pour ce faire, il serait important de commencer par identifier les peuplements les plus vulnérables pour ensuite y intervenir en priorité. Les interventions sylvicoles recommandées sont celles qui permettront de favoriser la diversification et la connectivité fonctionnelles des peuplements forestiers. Enfin, il est préconisé de faire un suivi régulier et de sensibiliser les usagers afin qu'ils y participent et contribuent à la prévention des menaces biotiques et abiotiques.

5. CONCLUSION

L'approche proposée au sein de ce rapport vise à fournir un portrait complet et objectif de l'état de la connectivité écologique du territoire du Grand écosystème du parc national de la Mauricie. Celle-ci permet de prendre en compte simultanément un éventail d'indicateurs ayant un impact sur la connectivité afin de fournir un portrait robuste des priorités de conservation du territoire à l'étude. Elle favorise donc l'optimisation des efforts de protection et de restauration, en plus d'être reproductible et cohérente avec des études antérieures.

Les résultats des analyses réalisées et de la priorisation des habitats et des corridors de déplacement mettent en valeur l'importance du parc national de la Mauricie pour le maintien des réseaux de connectivité. En effet, le parc représente un point névralgique pour le déplacement des espèces dans le réseau d'aires protégées de la région.

Les résultats démontrent également l'importance des portions ouest et nord du Grand écosystème du parc national de la Mauricie pour diriger les efforts de conservation actuels et futurs. Plusieurs corridors prioritaires ressortent pour les grands mammifères tels que le loup de l'Est, l'ours noir dans cette partie du territoire, ainsi que la martre d'Amérique tandis que les milieux urbanisés représentent des contraintes importantes au déplacement animal dans le territoire. Les activités forestières, particulièrement concentrées dans l'extrémité nord du territoire pourraient également limiter le déplacement du loup de l'Est, de la martre d'Amérique et de la salamandre cendrée dans le parc national de la Mauricie.

En raison des besoins très spécifiques en matière d'habitat de la tortue des bois, la connectivité pour cette espèce est fortement corrélée à la présence de cours d'eau et d'habitats sensibles ayant un statut de protection dans le sud du territoire. La connectivité entre les habitats importants pour cette espèce est faible dans certains secteurs du territoire, majoritairement en raison des milieux anthropisés qui rompent les liens entre ceux-ci ou la répartition spatiale du réseau hydrique.

Les analyses de diversité fonctionnelle et de vulnérabilité aux menaces biotiques et abiotiques ont révélé que certaines parties du territoire sont moins résilientes face aux changements globaux que d'autres, notamment dans le nord du PNLM. Ceci pourrait avoir un impact négatif sur la connectivité du territoire puisque les milieux boisés identifiés comme vulnérables sont dans des zones où se trouvent des habitats et corridors potentiels pour les espèces fauniques du parc national de la Mauricie. Une planification durable, intégrant les menaces associées aux changements globaux et basée sur une approche de diversification et de connectivité fonctionnelles, permettrait d'assurer la résilience des écosystèmes forestiers du PNLM contribuant ainsi au maintien de la connectivité.

En bref, les analyses effectuées et les résultats en découlant fournissent un premier aperçu du potentiel de connectivité du paysage à l'échelle du Grand écosystème de parc national de la Mauricie et de la résilience des forêts du PNLM face aux changements globaux. De futures études permettant de valider les corridors de déplacement théoriques proposés dans le cadre de ce projet et d'évaluer le potentiel de dispersion du matériel génétique (c.-à-d. les graines), via notamment l'analyse de la connectivité fonctionnelle des peuplements, permettraient de mieux prévoir les interventions sylvicoles dans une perspective de connectivité et de résilience.

6. LISTES DES ANNEXES

Annexe A : Méthodologie pour l'analyse de connectivité et de priorisation des corridors de déplacement

Annexe B : Tableaux des valeurs d'IQH, de résistance et des modificateurs spatiaux

Annexe C : Cartes de l'IQH, des parcelles d'habitat et de la résistance du territoire

Annexe D : Importance des parcelles d'habitat au sein du réseau par l'analyse de centralité intermédiaire

Annexe E : Évaluation du flux du courant pour le Grand écosystème du parc national de la Mauricie

Annexe F : Évaluation de la connectivité nœud à nœud pour le Grand écosystème du parc national de la Mauricie

Annexe G : Évaluation de la résilience des forêts du parc national de la Mauricie

7. BIBLIOGRAPHIE

- Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341–343. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021>
- Albert, C. H., Rayfield, B., Dumitru, M., & Gonzalez, A. (2017). Applying network theory to prioritize multispecies habitat networks that are robust to climate and land-use change. *Conservation Biology*, 31(6), 1383–1396. <https://doi.org/10.1111/cobi.12943>
- Anantharaman, R., Hall, K., Shah, V., & Edelman, A. (2019). Circuitscape in julia: High performance connectivity modelling to support conservation decisions. *ArXiv*, 1–9. <https://doi.org/10.21105/jcon.00058>
- Aquilué, N., Messier, C., Martins, K.T., Dumais-Lalonde, V & Mina, M. (2021). A simple-to-use management approach to boost adaptive capacity of forests to global uncertainty. *Forest Ecology and Management*, 481. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118692>.
- Beier, P., Majka, D., & Jenness, J. (2007). *Conceptual steps for designing wildlife corridors*. CorridorDesign.
- Brandt, L. A., Derby Lewis, A., Scott, L., Darling, L., Fahey, R. T., Iverson, L., Nowak, D. J., Bodine, A. R., Bell, A., Still, S., Butler, P. R., Dierich, A., Handler, S. D., Janowiak, M. K., Matthews, S. N., Miesbauer, J. W., Peters, M., Prasad, A., Shannon, P. D., Stotz, D. & Swanston, C. W. (2017). Chicago Wilderness region urban forest vulnerability assessment and synthesis: a report from the Urban Forestry Climate Change Response Framework Chicago Wilderness pilot project. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-168>
- Chase, J. M., Jeliakov, A., Ladouceur, E., & Viana, D. S. (2020). Biodiversity conservation through the lens of metacommunity ecology. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1469, Issue 1, pp. 86–104). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/nyas.14378>
- Conservation de la nature Canada (2020). Limites de propriétés protégées (Shapefiles). Québec.
- Collette-Hachey, C., Desautels, P., Ferland, A., Gratton, L., Hébert, P., & Marineau, K. (2018). *Plan de protection des corridors fauniques Plaisance-Tremblant*. Conservation de la nature.
- COSEPAC. (2007) Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*) au Canada. <https://www.sararegistry.gc.ca/>
- COSEPAC. (2015). Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le loup de l'Est (*Canis sp. cf. lycaon*) au Canada. <https://www.registrelep-sararegistry.gc.ca/>
- Éco-corridors laurentiens. (2020). *Plan pour la connectivité des Laurentides 2020-2025*. Rapport préliminaire et confidentiel.
- ECCC. (2015). *Aires protégées - Canada*. Environnement et Changement climatique Canada, Gouvernement du Canada. <https://ouvert.canada.ca/>
- ECCC. (2017). Plan de gestion du loup de l'Est (*Canis lupus lycaon*) au Canada [Proposition], Série de Plans de gestion de la Loi sur les espèces en péril, Environnement et Changement climatique Canada, Gouvernement du Canada.
- ECCC. (2020). Données géospatiales, pour le territoire du Parc de la Mauricie et 60 km autour, de l'habitat essentiel désigné dans le Programme de rétablissement de la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*) au Canada, Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Environnement et Changement climatique Canada, Gouvernement du Canada
- Giguère, S., Côté, M.-J., & Daigle, C. (2011). Atlas des habitats potentiels de la tortue des bois

(*Glyptemys insculpta*) au Québec. Environnement Canada, Service canadien de la faune – Région du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – Direction du patrimoine écologique et des parcs, ministère des Ressources naturelles et de la Faune – Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats.

Gonzalez, A., Rayfield, B., & Lindo, Z. (2011). The disentangled bank: How loss of habitat fragments and disassembles ecological networks. *American Journal of Botany*, 98(3), 503–516. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000424>

Gonzalez, A., Thompson, P., & Loreau, M. (2017). Spatial ecological networks: planning for sustainability in the long-term. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 29, pp. 187–197). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.03.012>

Guzinski, R., Nieto, H. (2019). Evaluating the feasibility of using Sentinel-2 and Sentinel-3 satellites for high-resolution evapotranspiration estimations. *Remote Sensing of Environment*, 221, 157-172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.019>.

Harding, J. H., & Bloomer, T. J. (1979). The wood turtle, *Clemmys insculpta*... a natural history. *Bulletin of the New York Herpetological Society*, 15, 9–26.

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427– 432.

Hénault, M. (2019). Évaluation de la présence du loup de l'Est dans la réserve faunique Papineau-Labelle et la région de l'Outaouais. Rapport pour Environnement et Changement climatique Canada, Service canadien de la faune.

Hénault, M. (2020). Évaluation de la présence du loup de l'Est (*Canis sp. cf. lycaon*) dans la région du Parc national de la Mauricie. Rapport pour Environnement et Changement climatique Canada, Service canadien de la faune.

IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, & H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (editors). Cambridge University Press. In Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>

Kuijper, D. P. J., Churski, M., Trouwborst, A., Heurich, M., Smit, C., Kerley, G. I. H., & Cromsigt, J. P. G. M. (2019). Keep the wolf from the door: How to conserve wolves in Europe's human-dominated landscapes?. *Biological Conservation*, 235, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.004>

Li, T., & Ducruc, J.-P. (1999). Les provinces naturelles. Niveau I du cadre écologique de référence du Québec. Ministère de l'Environnement.

Li, T., Ducruc, J.-P., Côté, M.-J., Bellavance, D., & F, P. (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.

López-Bao, J. V., Bruskotter, J., & Chapron, G. (2017). Finding space for large carnivores. *Nature Ecology and Evolution*, 1(5), 1–2. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0140>

- Lovett, G. M., Weiss, M., Liebhold, A. M., Holmes, T. P., Leung, B., Lambert, K. F., Orwig, D. A., Campbell, F. T., Rosenthal, J., McCullough, D. G., Wildova, R., Ayres, M. P., Canham, C. D., Foster, D. R., LaDeau, S. L., & Weldy, T. (2016). Nonnative forest insects and pathogens in the United States: Impacts and policy options. *Ecological Applications*, 26(5). <https://doi.org/10.1890/15-1176>
- Mainguy, J., Hénault, M., Jolicœur, H., & Dalpé-Charron, E. (2017). *Identification génétique et répartition spatiale des grands canidés sauvages au Québec*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de l'expertise sur la faune terrestre, l'herpétofaune et l'avifaune and Direction de la gestion de la faune de Lanaudière et des Laurentides.
- Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. *Blackwell Science*, Oxford, UK.
- Matthews, S.N., Iverson, L.R., Prasad, A.M., Peters, M.P., Rodewald, P.G. (2011). Modifying climate change habitat models using tree species-specific assessments of model uncertainty and life history-factors. *Forest Ecology and Management*, 262(8): 1460- 1472.
- McCullough, D.G., R.L. Heyd et J.G. O'Brien 2005. Biology and management of beech bark disease : Michigan's newest exotic forest pest. Michigan State University Extension, bulletin E-2746.
- Messier, C., Bauhus, J., Doyon, F., Maure, F., Sousa-Silva, R., Nolet, P., Mina, M., Aquilué, N., Fortin, M-J. & Puettmann, K. (2019) The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystem*, 6(21). <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>
- Mattisson, J., Sand, H., Wabakken, P., Gervasi, V., Liberg, O., Linnell, J. D. C., Rauset, G. R., & Pedersen, H. C. (2013). Home range size variation in a recovering wolf population: Evaluating the effect of environmental, demographic, and social factors. *Oecologia*, 173(3), 813–825. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2668-x>
- McRae, B., Shah, V., & Mohapatra, T. (2014). *Circuitscape User Guide*. <http://www.circuitscape.org>
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 10, 2712–2724. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/07-1861.1>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (2019). La rouille vésiculeuse du pin blanc. [en ligne]. Accessible depuis <https://mffp.gouv.qc.ca/forets/fimaq/insectes/fimaq-insectes-maladies-pinblanc.jsp>. Consulté le 14 mars 2022.
- MFFP. (2021). *IEQM: Carte écoforestière à jour*. Ministère des forêts de la faune et des Parcs. <https://www.donneesquebec.ca/>
- MFFP. (2021). *Tortue des bois*. Ministère des forêts de la faune et des Parcs. <https://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/>
- Mitchell, M. G. E., Bennett, E. M., Gonzalez, A., Lechowicz, M. J., Rhemtulla, J. M., Cardille, J. A., Vanderheyden, K., Poirier-Ghys, G., Renard, D., Delmotte, S., Albert, C. H., Rayfield, B., Dumitru, M., Huang, H.-H., Larouche, M., Liss, K. N., Maguire, D. Y., Martins, K. T., Terrado, M., ... Dancose, K. (2015). The Montérégie Connection: linking landscapes, biodiversity, and ecosystem services to improve decision making. *Ecology and Society*, 20(4). <http://www.jstor.org/stable/26270281>
- Montzka C., Bayat B., Tewes A., Mungen D., Vereecken, H. (2021). Sentinel-2 Analysis of Spruce Crown Transparency Levels and Their Environmental Drivers After Summer Drought in the Northern Eifel (Germany). *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. DOI=10.3389/ffgc.2021.667151
- Ouranos. 2021. Portrait climatique: Mauricie. <https://www.ouranos.ca/climate-portraits/#/regions/25>

Moilanen, A., Arponen, A., Leppänen, J., Meller, L., & Kujala, H. (2011). *Zonation: Spatial conservation planning framework and software version 3.0 user manual*. <https://researchportal.helsinki.fi>

Nyhus, P. J. (2016). Human–Wildlife Conflict and Coexistence. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 143–171. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085634>

Ontario Natural Heritage Information Centre. (2017). *Data on Eastern Wolf/Algonquin Wolf*.

Paquet, P. C., Wierzchowski, J., & Callaghan, C. (1996). Effects of Human Activity on Gray Wolves in the Bow River Valley, Banff National Park, Alberta. In L. C. Pacas & S. Bayley (Eds.), *A Cumulative Effects Assessment and Futures Outlook of the Banff Bow Valley*. Ecological Outlooks Project.

Paquette, A., Sousa-Silva, R., Maure, F., Cameron, E., Belluau, M., Messier, C. (2021). Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62(February). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127157>

Rayfield, B., Dumitru, M., Pelletier, D., Laroque, G., Albert, C., Daniel, C. J., & Gonzalez, A. (2018). *Une évaluation de la connectivité écologique pour les Basses-terres du Saint-Laurent*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Gouvernement du Québec.

Rayfield, B., Larocque, G., Daniel, C. J. & Gonzalez, A. (2019). Une priorisation pour la conservation des milieux naturels des Basses-terres du Saint-Laurent en fonction de leur importance pour la connectivité. Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec (Québec)

Rayfield, B., & Gonzalez, A. (2021). Présentation des priorités pour la conservation de la connectivité écologique (P1-2). [Diapositives Powerpoint]. Ateliers de consultation réalisés pour le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec (Québec).

Ressources naturelles Canada (RNC). (2015). Trees, insects and diseases of Canada's forests. <https://tidcf.nrcan.gc.ca/en/>

Consulté le 14 mars 2022

Rich, L. N., Mitchell, M. S., Gude, J. A., & Sime, C. A. (2012). Anthropogenic mortality, intraspecific competition, and prey availability influence territory sizes of wolves in Montana. *Journal of Mammalogy*, 93(3), 722–731. <https://doi.org/10.1644/11-MAMM-A-079.2>

Rogic, A., Tessier, N., & Lapointe, F.-J. (2014). *Identification of canids found within Parc national du Mont-Tremblant and its surroundings using microsatellite markers*. Université de Montréal et Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Rapport pour le Service de la conservation et de l'éducation du Parc national du Mont-Tremblant. <https://ouvert.canada.ca/>

Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique. (2020). Update of the Zero Draft of the Post-2020 Global Biodiversity Framework.

Sinding, M.-H. S., Gopalakrishnan, S., Vieira, F. G., Samaniego Castruita, J. A., Raundrup, K., Heide Jørgensen, M. P., Meldgaard, M., Petersen, B., Sicheritz-Ponten, T., Mikkelsen, J. B., Marquard-Petersen, U., Dietz, R., Sonne, C., Dalén, L., Bachmann, L., Wiig, Ø., Hansen, A. J., & Gilbert, M. T. P. (2018). Population genomics of grey wolves and wolf-like canids in North America. *PLOS Genetics*, 14(11), e1007745. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007745>

Statistique Canada. (2016). *Réseau routier national*. Gouvernement du Canada. <https://ouvert.canada.ca/>

Stewart, F. E. C., Darlington, S., Volpe, J. P., McAdie, M., & Fisher, J. T. (2019). Corridors best facilitate functional connectivity across a protected area network. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47067-x>

Ville de Trois-Rivières. (2021). Propriétés protégées du secteur de la tourbière Red Mill.



www.habitat-nature.com

5818 Blvd Saint-Laurent, Montréal, H2T 1T3, QC

info@habitat-nature.com | (438) 825-4445