

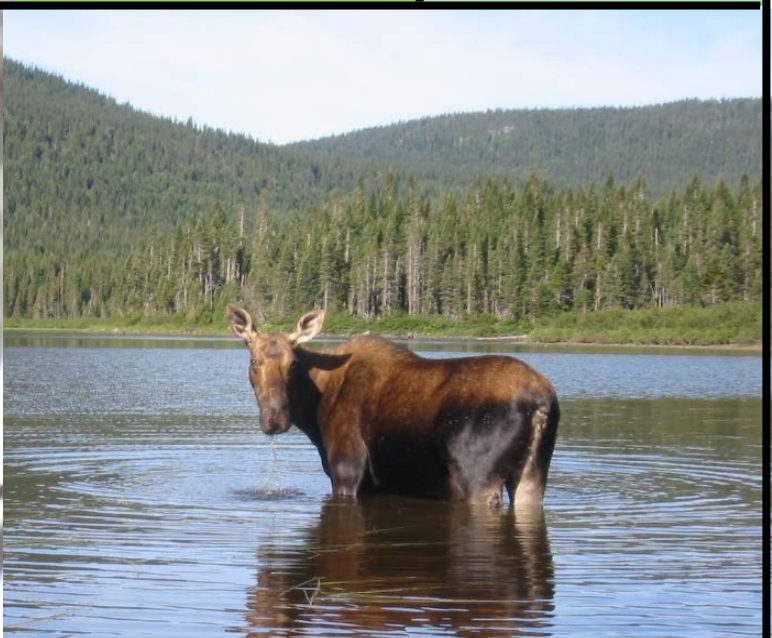
Analyse de la connectivité faunique pour des espèces forestières



AGENCE RÉGIONALE DE
MISE EN VALEUR
DES FORÊTS PRIVÉES
DU BAS-SAINT-LAURENT

Territoire privé du Bas-Saint-Laurent

Mars 2018



Crédits photo

Cerf de Virginie: Frédéric Morneau
Grand pic : Pixabay.com (Skeeze)
Grimpereau brun : Michel Boisvert
Original : Frédéric Morneau

CITATION RECOMMANDÉE

Raymond-Bourret, E. et S. Nadeau, 2018. Analyse de la connectivité faunique : *territoire privé du Bas-Saint-Laurent*. Agence régionale de mise en valeur des forêts privées du Bas-Saint-Laurent, Rimouski, 55 p.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

| | |
|------------------------|--|
| Coordination : | Sébastien Nadeau |
| Rédaction : | Esmarella Raymond-Bourret (Agence) Sébastien Nadeau (Agence) |
| Analyses géomatiques : | Esmarella Raymond-Bourret (Agence) |
| Comité consultatif : | Éric Gosselin (Groupe Nyctale) Geneviève Bourget (MFFP) Jean-Étienne Joubert / Roxanne Noël (ZIPSE) Jean-François Gagnon (HNBSL) Jérôme Laliberté (UQAR) Jessie Héon (MTMDET) Jonathan Côté (MTMDET) Louise Gratton (Consultante en écologie) Luc Sirois (UQAR) Manon Perreault (MFFP) Marc-André Villard (UQAR/UMoncton) Martin Bélanger (GFT) Martin-Hugues St-Laurent (UQAR) Patrick Morin (CREBSL) Pierre Fradette (RQO) Simon Tweddell (OBVNEBSL) Esmarella Raymond-Bourret (Agence) Marc-André Lechasseur (Agence) Sébastien Nadeau (Agence) |
| Révision : | Comité consultatif Martin Lepage (Agence) Marc-André Lechasseur (Agence) |

NOTE AU LECTEUR

Le présent rapport se base sur un exercice de concertation faisant appel à l'implication de plusieurs organisations et partenaires. Les aspects méthodologiques et orientations générales ont été convenus sur une base consensuelle par les membres du comité consultatif. Néanmoins, les résultats, les conclusions et les recommandations de ce rapport peuvent différer des orientations qui sont à la base de la gouvernance des organisations auxquelles sont affiliés les membres du comité consultatif et les personnes ressources consultées.



REMERCIEMENTS

La participation des membres du comité consultatif et les commentaires reçus ont permis d'apporter des amendements constructifs, tant au niveau de la méthodologie que du rapport final. Les résultats du projet reposent sur des données à jour qui nous ont été transmises par de nombreux collaborateurs. De façon plus particulière, nous remercions les acteurs suivants pour leur contribution : Marc-André Villard, Benoît Perron, Carl Bergeron, André Desrochers, David Pelletier et *Nature Counts*.

Nous sommes particulièrement reconnaissants envers Martin-Hugues St-Laurent et Jérôme Laliberté pour leur implication particulière dans le projet. La collaboration de madame Louise Gratton, consultante en écologie et conservation fut aussi très appréciée, tout au long du projet.

Les auteurs tiennent à remercier la Fondation de la Faune du Québec pour le soutien financier obtenu dans le cadre du Programme « Faune-Forêt » sur terre privé. Cette aide financière a rendu possible la réalisation de ce projet.



Fondation de la faune du Québec



RÉSUMÉ

L'intensification de l'utilisation du territoire par l'homme au cours des dernières décennies a entraîné la perte et la fragmentation de nombreux habitats naturels. Ce phénomène engendre d'importants enjeux de connectivité à l'échelle Nord-Américaine. Jusqu'ici, il n'existait aucune analyse fine du territoire Bas-Laurentien visant à identifier les secteurs forestiers permettant de maintenir à long terme la circulation des espèces fauniques et les échanges génétiques dans une matrice comprenant des zones fortement anthropisées.

Le projet visait donc à créer un outil de connaissances pour le territoire privé du Bas-Saint-Laurent, qui identifie les liens de connectivité fonctionnels potentiels et susceptibles de favoriser le déplacement de la faune pour ultimement relier différents réservoirs de biodiversité tels que les aires protégées et les territoires d'intérêts pour la création d'aires protégées (TI). Pour atteindre cet objectif, la connectivité a été évaluée pour différentes espèces clés, représentatives de la forêt régionale.

Les résultats de cette étude ont permis d'identifier les secteurs présentant le plus fort potentiel pour le maintien de la connectivité à l'échelle régionale. Les liens de connexion ont pu être gradés selon leur intensité à l'échelle régionale et les secteurs contribuant fortement à la connectivité sur le territoire privé ont été identifiés. Ces résultats restent toutefois théoriques et doivent faire l'objet de validations. Sans validation, il est difficile de confirmer dans quelle mesure le résultat des modélisations représente l'utilisation réelle du territoire faite par les espèces étudiées.

Ce projet est un exercice important qui a mobilisé de nombreux intervenants et experts autour des enjeux liés à la conservation de la biodiversité et de la connectivité des milieux naturels. Cette implication a conduit à la production de connaissances territoriales crédibles issues d'opinion d'experts. Le projet s'arrime sur la stratégie régionale de conservation et sa mise en œuvre (Morin et Balthazar 2015) et ces suites se traduiront par la prise en compte des liens de connectivité dans la planification et la gestion du territoire à différentes échelles. Le tout a été réalisé dans l'optique de compléter les démarches entourant la proposition et la création d'aires protégées sur les terres du domaine de l'état. Ultimement, la mise en œuvre d'actions découlant de cette stratégie et de la volonté régionale permettra aux gestionnaires et aux propriétaires concernés, d'orienter les efforts de protection des connexions au bénéfice des espèces qui les utilisent.



TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| ÉQUIPE DE RÉALISATION | III |
| NOTE AU LECTEUR | III |
| REMERCIEMENTS..... | IV |
| RÉSUMÉ | V |
| TABLE DES MATIÈRES | VI |
| LISTE DES TABLEAUX..... | VIII |
| LISTE DES FIGURES | IX |
| LISTE DES ANNEXES | X |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES | XI |
| 1 Introduction | 1 |
| 1.1 Mise en contexte..... | 1 |
| 1.2 Objectif du projet..... | 2 |
| 1.2.1 Le processus de réalisation du projet..... | 3 |
| 1.3 Choix des espèces..... | 3 |
| 1.3.1 Espèces associées aux peuplements de fin de succession | 3 |
| 1.3.2 Espèces associées aux peuplements de début de succession..... | 4 |
| 1.4 Biologie des espèces sélectionnées | 5 |
| 2 Méthodologie..... | 7 |
| 2.1 Aire d'étude | 7 |
| 2.2 Géotraitement et sources de données..... | 10 |
| 2.3 Choix de la méthodologie | 10 |
| 2.3.1 Circuitscape..... | 12 |
| 2.3.2 Actualisation de la cartographie écoforestière | 12 |
| 2.4 Évaluation de la qualité de l'habitat | 13 |
| 2.4.1 Grimpereau brun | 13 |
| 2.4.2 Grand pic..... | 17 |
| 2.4.3 Cerf de Virginie et orignal..... | 19 |



| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.5 | Noyaux d'habitats | 21 |
| 2.6 | Résistance du paysage | 24 |
| 2.6.1 | Espèces de fin de succession | 25 |
| 2.6.2 | Espèces de début de succession | 27 |
| 2.7 | Analyse de connectivité | 30 |
| 2.8 | Validation des résultats | 31 |
| 3 | Résultats et discussion | 32 |
| 3.1 | Analyses de connectivité | 33 |
| 3.1.1 | Interprétation générale des analyses | 34 |
| 3.1.2 | Résultats d'analyses pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession | 34 |
| 3.1.3 | Résultats d'analyses pour les espèces associées aux peuplements de début de succession | 36 |
| 4 | Les suites du projet | 45 |
| 5 | Conclusion | 48 |
| 6 | Références | 49 |
| 7 | ANNEXES | 56 |



LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tableau 1. | Largeurs moyennes des chemins et routes en comptant leur emprise. | 13 |
| Tableau 2. | Valeur du paramètre de hauteur de l'IQH du grimpeur brun..... | 15 |
| Tableau 3. | Valeur du paramètre de densité du couvert de l'IQH du grimpeur brun | 15 |
| Tableau 4. | Valeur du paramètre de stade de développement de l'IQH du grimpeur brun. | 16 |
| Tableau 5. | Valeur de qualité de l'habitat du grimpeur brun pour les caractéristiques non forestière du paysage. | 16 |
| Tableau 6. | Valeur du paramètre de composition en essence pour l'IQH du grand pic en fonction du type de couvert forestier et des regroupements d'essences..... | 17 |
| Tableau 7. | Valeur du paramètre de densité-hauteur de l'IQH du grand pic en fonction de la densité et de la hauteur du peuplement forestier. | 18 |
| Tableau 8. | Valeur du paramètre de stade de développement (SD) de l'IQH du grand pic..... | 18 |
| Tableau 9. | Valeur de la qualité de l'habitat du grand pic pour les caractéristiques non forestières du paysage. | 19 |
| Tableau 10. | Coefficients de fonction de sélection des ressources du cerf de Virginie développés par Laliberté et St-Laurent depuis des localisations d'individus au Bas-Saint-Laurent. | 20 |
| Tableau 11. | Coefficients de fonction de sélection des ressources de l'original développés par Laliberté et St-Laurent depuis des localisations d'individus au Bas-Saint-Laurent. | 20 |
| Tableau 12. | Synthèse des critères de sélection des noyaux d'habitats à connecter pour les quatre espèces ciblées. | 21 |
| Tableau 13. | Variables utilisées pour la création des matrices de résistance du grand pic et du grimpeur brun..... | 26 |
| Tableau 14. | Variables utilisées pour la création des matrices de résistance du cerf de Virginie et de l'original. | 28 |
| Tableau 15. | Moyenne et écart type du courant cumulé et maximal des aires protégées et territoires d'intérêt pour la création d'aires protégées pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession..... | 36 |



LISTE DES FIGURES

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figure 1. | Aire d'étude pour l'évaluation de la connectivité faunique à l'échelle du territoire privé du Bas-St-Laurent. | 8 |
| Figure 2. | Zones de modélisation de la résistance pour l'évaluation de la connectivité faunique..... | 9 |
| Figure 3. | Exemple de résultats de surfaces de routes obtenues depuis les largeurs totales moyennes établies..... | 13 |
| Figure 4. | Séparation ouest/est de l'aire d'étude utilisée pour la sélection des noyaux d'habitats à connecter basée sur la dichotomie observée notamment dans le registre des pentes..... | 22 |
| Figure 5. | Résultat brut de la RSF du cerf qui illustre la grande dichotomie observée entre l'ouest et l'est de l'aire d'étude..... | 23 |
| Figure 6. | Comparatif entre une matrice de résistance pour laquelle les valeurs les plus élevées priment sur les autres et une matrice où les valeurs sont additionnées..... | 25 |
| Figure 7. | Relation entre la distance au couvert forestier et la valeur de résistance pour le grimpeur brun..... | 27 |
| Figure 8. | Valeur du courant cumulé issu d'une analyse de connectivité de <i>Circuitscape</i> avec une valeur de résistance de 1 000 pour une route et d'une valeur nulle..... | 29 |
| Figure 9. | Distribution de fréquence des valeurs de RSF du cerf de Virginie..... | 30 |
| Figure 10. | Noyaux des meilleurs habitats disponibles à l'échelle de la zone de modélisation pour le grimpeur brun, le grand pic, l'orignal et le cerf de Virginie..... | 33 |
| Figure 11. | Sommation des résultats d'analyse de <i>Circuitscape</i> pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession..... | 39 |
| Figure 12. | Sommation des résultats d'analyse de <i>Circuitscape</i> pour les espèces associées aux peuplements de début de succession..... | 41 |
| Figure 13. | Chemins de moindre coût calculés depuis la distance de moindre coût cumulée, pour les espèces associées aux peuplements de a) début et b) fin de succession..... | 43 |
| Figure 14. | Potentiel accidentogène des intersections entre les chemins du moindre coût et le réseau routier pour les espèces associées aux peuplements de début de succession..... | 45 |



LISTE DES ANNEXES

| | |
|---|----|
| ANNEXE 1. Liste des espèces représentant les forêts matures basée sur une revue de littérature, l'opinion d'experts et l'atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional. | 57 |
| ANNEXE 2. Classification des peuplements forestiers par stade de développement | 58 |
| ANNEXE 3. Comparatif de la sommation des résultats d'analyses de <i>Circuitscape</i> pour toutes les espèces entre la modélisation utilisant a) les noyaux réguliers et b) les meilleurs habitats comme noyaux | 59 |
| ANNEXE 4. Résultats d'analyses de <i>Circuitscape</i> pour le grimperea brun..... | 61 |
| ANNEXE 5. Résultats d'analyse de <i>Circuitscape</i> pour le grand pic..... | 63 |
| ANNEXE 6. Résultats d'analyses de <i>Circuitscape</i> pour le cerf de Virginie..... | 65 |
| ANNEXE 7. Résultats d'analyses de <i>Circuitscape</i> pour l'original | 67 |



LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

| | |
|-----------------|---|
| Agence | Agence régionale de mise en valeur des forêts privées du Bas-Saint-Laurent |
| CREBSL | Conseil régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent |
| DHP | Diamètre à hauteur de poitrine |
| DH | Densité-Hauteur |
| DJMA | Débit journalier moyen annuel |
| ÉT | Écart-type |
| GFT | Groupement forestier de Témiscouata |
| ha | Hectare |
| HNBSL | Horizon-Nature Bas-Saint-Laurent |
| LCP | Chemin de moindre coût (de l'anglais « <i>least cost path</i> ») |
| MDDELCC | Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques |
| MFFP | Ministère de la Forêt de la Faune et des Parcs |
| MTMDET | Ministère des Transport de la Mobilité durable et de l'Électrification des Transports |
| MRC | Municipalité régionale de comté |
| OBVNEBSL | Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-Saint-Laurent |
| RQO | Regroupement QuébecOiseaux |
| RSF | Fonction de sélection des ressources |
| SIE | Système d'information écoforestière |
| TI | Territoires d'intérêts pour la création d'aires protégées |
| UMoncton | Université de Moncton |
| UQAR | Université du Québec à Rimouski |
| ZIPSE | Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire |



1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Au cours des dernières décennies, plusieurs recherches ont mis en évidence les impacts négatifs de la perte et la fragmentation des habitats naturels par les perturbations anthropiques (Meffe et Carroll 1997; Bartlett *et al.* 2016). Avec l'intensification de l'utilisation du territoire par l'homme, ces habitats occupent de moins en moins grandes superficies et se trouvent dispersés dans le paysage. En plus de faire face à une réduction de la quantité et de la qualité des habitats disponibles, de nombreuses espèces doivent donc naviguer dans une matrice anthropisée pour rejoindre des parcelles d'habitat favorables. Certaines structures telles que des routes ou des étendues ouvertes peuvent alors limiter la capacité des organismes à se disperser avec succès. Plusieurs groupes de travail ont d'ailleurs mis en évidence une problématique globale de connectivité à l'échelle nord-américaine (Trombulak *et al.* 2008; WHCWG 2010; Belote *et al.* 2016), notamment dans l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie où un axe de déplacement essentiel au maintien de la connectivité se superpose à la région administrative du Bas-Saint-Laurent (Trombulak *et al.* 2008). À cette échelle, les enjeux de connectivité sont principalement dus à deux phénomènes distincts.

D'une part, certains secteurs présentent une forte utilisation du territoire à des fins anthropiques, principalement sur une bande d'environ 15 km de largeur qui longe le fleuve Saint-Laurent. Cette zone est occupée par 6 villes centres et elle est traversée par la route 132 ainsi que par deux tronçons de l'autoroute 20, qui représentent des entraves considérables à la libre circulation de la faune. Deux autres infrastructures routières majeures traversent aussi l'aire d'étude dans un axe NO/SE (A-85/185 et la route 132), le long desquelles le sol est largement occupé à des fins agricoles et d'urbanisation. Ces routes sont d'ailleurs le lieu de nombreux accidents routiers impliquant la grande faune.

D'autre part, bien que le Bas-Saint-Laurent se compose d'une matrice essentiellement forestière, l'historique d'aménagement du territoire du dernier siècle a entraîné, comme ailleurs au Québec, une raréfaction des peuplements forestiers ayant atteint le stade de vieille forêt (Mosseler *et al.* 2003; Boucher *et al.* 2006). Les fragments restants se trouvent actuellement dispersés et l'isolement de ces habitats représente un important enjeu de connectivité. La création à venir d'aires protégées combinée,



à celles existantes, devrait augmenter à long terme la disponibilité de ce type de peuplement dont dépend une large gamme d'oiseaux, de mammifères, d'amphibiens, d'invertébrés et de plantes.

Quelques concepts relatifs à la **connectivité**

En écologie, la connectivité se définit comme étant le degré auquel le paysage facilite ou entrave le mouvement de la faune ou de la flore, permettant ainsi le maintien de processus écologiques. On distingue la connectivité **structurelle**, qui réfère à la relation physique entre les parcelles d'habitat (contiguïté spatiale), de la connectivité dite **fonctionnelle**. Cette dernière évalue le degré auquel les populations, les gènes ou les individus circulent dans le paysage et elle résulte de l'interaction entre la structure du paysage et les caractéristiques écologiques des individus telles que la capacité de déplacement, le comportement de dispersion, la sélection d'habitat etc. Comme la connectivité fonctionnelle se définit relativement aux besoins et aux limitations des organismes, elle varie en fonction des espèces étudiées et du contexte dans lequel elles évoluent.

Les **corridors** sont des bandes relativement courtes et linéaires qui contrastent avec la matrice environnante et qui permettent le mouvement d'individus entre les parcelles d'habitat. Ils sont similaires aux **liens de connexion** (ou connexions) qui eux ne sont pas limités en forme ou en taille.

1.2 Objectif du projet

Le projet vise à créer un outil de connaissances pour le territoire privé du Bas-Saint-Laurent, qui identifie les liens de connectivité fonctionnels susceptibles de favoriser le déplacement de la faune et d'ultimement relier différents réservoirs de biodiversité tels que les aires protégées et les territoires d'intérêts pour la création d'aires protégées (TI).

Pour atteindre cet objectif, la connectivité a été évaluée pour différentes espèces clés représentatives de la forêt régionale. Les résultats d'analyse ont été superposés pour donner une vision globale de la connectivité faunique. Il est ainsi possible d'identifier les zones importantes pour la conservation en priorisant les liens de connexion selon leur intensité et leur potentiel à connecter les aires protégées, les TI et autres secteurs de biodiversité.

Bien que réalisé pour les besoins spécifiques de l'Agence, les outils développés et les résultats des analyses ont le potentiel d'être utilisés, en concordance avec leur mission respective, par d'autres partenaires tels que les différents ministères, MRC, organismes de conservation, intervenants régionaux, etc. Les Conseillers forestiers seront également outillés pour sensibiliser leurs propriétaires visés par la présence de liens de connexion importants ou encore de mettre en contexte la propriété forestière au sein d'un plus vaste ensemble.



1.2.1 Le processus de réalisation du projet

De manière à bonifier le projet, un comité d'expert composé de divers intervenants régionaux (UQAR, UMoncton, MFFP, MDDELCC MDDEFP, CREBSL, Agence, Conseillers forestiers, etc.) a été mis sur pied et fut impliqué à différentes étapes du processus. Une première rencontre du comité a permis de raffiner et d'entériner la méthodologie de calcul des indices de qualité de l'habitat (IQH), ainsi que d'appuyer la méthodologie de calcul de la connectivité. L'implication des experts consultés dans la priorisation des corridors de déplacement de la faune a renforcé la qualité et la précision des analyses.

Il est important de mentionner que ce projet ne comprend pas de validation terrain, ni de stratégies de conservation visant des sites particuliers. Cet exercice constitue un portrait global de la connectivité potentielle à l'échelle du territoire privé. Les résultats pourront servir d'assise et de point de départ pour la réalisation d'actions visant la conservation et la restauration de secteurs critiques au maintien des déplacements fauniques.

1.3 Choix des espèces

Pour évaluer le plus fidèlement possible la connectivité faunique en milieu forestier, un éventail d'espèces ayant différents besoins en habitat et capacités de déplacement a été favorisé. Ainsi, l'approche préconisée consiste à cibler des groupes d'espèces associées à des stades de développement différents, soit ceux associés aux peuplements de début et de fin de succession. Subséquemment, les espèces qui ont été privilégiées sont celles pour lesquelles la connectivité pouvait représenter un enjeu et pour lesquelles les connaissances disponibles permettaient de modéliser de façon crédible la qualité de leur habitat.

1.3.1 Espèces associées aux peuplements de fin de succession

Parmi les espèces fortement associées aux peuplements de fin de succession, les oiseaux forestiers représentent le mieux les besoins de connectivité associés à ce type de peuplement (annexe 1). Toutefois, rares sont les espèces pour lesquelles la documentation disponible permet de modéliser, de façon crédible, la sélection ou la qualité d'habitat à grande échelle à partir de la cartographie écoforestière. Le choix s'est donc limité au grimpereau brun (*Certhia americana*), au grand pic (*Dryocopus pileatus*) et à la paruline couronnée (*Seiurus aurocapillus*) pour lesquels un indice de qualité



de l'habitat (IQH) avait déjà été développé (Blanchette et LaRue 1993; Lafleur et Blanchette 1993; Sansregret et Blanchette 2003).

La paruline couronnée et le grand pic sont associés principalement aux peuplements feuillus et/ou mixtes (Lafleur et Blanchette 1993; King *et al.* 2006). Bien que l'on trouve le grimpereau dans tous les types de peuplements (Guénette et Villard 2005), le sapin est le substrat qu'il utilise le plus fréquemment pour la nidification (Poulin et Villard 2011: Nouveau-Brunswick) et seul l'IQH du grimpereau brun n'exclut pas les peuplements résineux des bons habitats (Sansregret et Blanchette 2003). De son côté, le grand pic est reconnu pour être une espèce parapluie en raison de son grand domaine vital et de son rôle d'excavateur de grandes cavités dont dépend une large gamme d'utilisateurs secondaires (Darveau et Desrochers 2001; Gasse 2007). De plus, la présence de pics est associée à une plus grande biodiversité d'oiseaux forestiers (Mikusiński *et al.* 2001) et est fréquemment considérée dans l'aménagement du paysage (Nilsson *et al.* 2001; Lammertink 2004; Uliczka *et al.* 2004). Considérant tous ces éléments, le grand pic et le grimpereau brun ont été les deux espèces privilégiées pour modéliser la connectivité faunique associée aux peuplements de fin de succession dans le cadre de la présente étude.

1.3.2 Espèces associées aux peuplements de début de succession

Parmi les nombreuses espèces associées aux peuplements de début de succession, le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et l'orignal (*Alces americanus*) sont celles pour qui la localisation des liens de déplacement aura le plus de retombées concrètes pour la société, notamment en terme de sécurité civile. En se déplaçant dans la matrice anthropisée du territoire pour rejoindre les différentes parcelles d'habitats, ces deux espèces sont susceptibles de traverser le réseau routier où elles risquent de provoquer une collision avec les automobilistes. Le cerf est d'ailleurs l'espèce la plus fréquemment impliquée dans les collisions routières et l'orignal, celle entraînant le plus de blessures et de dommages matériels (Transports Canada 2013; MFFP 2016). Par ailleurs, ces espèces jouent un rôle socio-économique important au Bas-Saint-Laurent, avec des retombées estimées à 16,2 M\$ et 212 emplois pour la région (ÉcoRessources 2014). Il s'agit de deux espèces pour lesquelles les données permettant la modélisation de la sélection d'habitats sont très précises, soit des fonctions de sélection de ressources (RSF) issues de localisations GPS/VHF et qui proviennent de recherches universitaires en cours (Laliberté et St-Laurent, travaux non publiés). Finalement, l'inclusion dans l'exercice de modélisation d'espèces



connues et emblématiques permettra d'intéresser les propriétaires et de faciliter la mise en place de mesures de conservation ou de restauration sur leur propriété (Uliczka *et al.* 2004).

1.4 Biologie des espèces sélectionnées

Le grimpereau brun est un petit passereau dont la répartition s'étend de l'Alaska au Nicaragua (Poulin *et al.* 2013). À nos latitudes, il effectue des migrations saisonnières entre ses habitats d'hiver au sud et ses habitats de nidification au nord-est de l'Amérique (Poulin *et al.* 2013). Il a alors besoin de chicots dont l'écorce se détache du tronc pour construire son nid, particulièrement ceux de sapin (Poulin *et al.* 2008). Il nécessite aussi une grande disponibilité de chicots pour subvenir à ses besoins alimentaires, ce dernier parcourant les troncs de haut en bas pour se nourrir des insectes qui s'y cachent. À ce titre, la disponibilité d'arbres de grand diamètre, qui comportent davantage d'interstices où les insectes peuvent se dissimuler, améliore la qualité des sites de nidification. Durant cette période, le grimpereau brun est sensible à la présence de bordures (Poulin et Villard 2011) dans son domaine vital d'environ 11 ha (Poulin *et al.* 2008), ce qui en fait une espèce associée aux forêts matures d'intérieur.

Le grand pic se répartit du nord du Mexique au Canada méridional (Bull et Jackson, 2011), il se nourrit des insectes qui prolifèrent dans le bois mort et plus principalement de fourmis charpentières (Lemaître et Villard 2005). Celles-ci favorisent les arbres de grand diamètre pour l'établissement de leur colonie, ce qui minimise le risque d'effondrement (Hansen et Akre 1985). Le grand pic nécessite lui aussi la présence de grands arbres qu'il utilise pour excaver ses cavités de nidification pour lesquels il favorise les arbres de plus de 35 cm de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) (Lemaître et Villard 2005). Comme il ne réutilise pas d'anciennes cavités, fort probablement pour diminuer le parasitisme, il doit en excaver de nouvelles à chaque année. Le grand pic est un oiseau résident possédant de bonnes capacités de déplacement ce qui lui est utile pour rejoindre les différentes parcelles d'habitat distribuées dans son domaine vital qui peut atteindre plus de 1 000 ha (Mellen *et al.* 1992). Les déplacements en milieux ouverts représentent toutefois un risque de mortalité important pour cette espèce, puisqu'il s'expose alors à son principal prédateur, l'autour des palombes (Bonar 2001). Bien qu'en général les pics ne sont pas reconnus pour éviter les



secteurs habités, le grand pic est l'un des membres de ce groupe le plus négativement impacté par la présence de l'homme et réfractaire à le côtoyer (Beasley 2013).

Le cerf de virginie est une espèce avec une large répartition qui s'étend de l'Amérique du Sud à nos latitudes où, il se trouve à la limite nord de son aire de répartition. Le cerf occupe une grande variété d'habitats le long de ce gradient de répartition, mais qui, dans le Bas-Saint-Laurent, préfère les milieux agro-forestiers. Il trouve ainsi un entremêlement avantageux de sites d'alimentation en milieu ouvert et d'abris sous couvert forestier entre lesquels il effectue des migrations journalières (Montgomery 1963). Les mâles, contrairement aux femelles, sont plus enclins à effectuer de grands déplacements de dispersion (Rosenberry *et al.* 1999). La taille moyenne de leur domaine vital dans la région est estimée à 11,82 km² (Lesage *et al.* 2000). Les populations de cerfs effectuent aussi des migrations saisonnières, qui varient de 6 à 45 km (Rosenberry *et al.* 1999; Nelson *et al.* 2004), entre les aires de rut et les habitats d'été ou d'hiver (Hoskinson et Mech 1976; Sabine *et al.* 2002).

L'orignal (*Alces americanus*) est un grand mammifère du nord de l'Amérique du Nord, présent dans la majeure partie du Canada et de l'Alaska. Son domaine vital est variable en fonction de la saison, passant de 42,1 km² en période estivale à 6,4 km² en hiver selon une étude publiée en forêt boréale (Dussault *et al.* 2005a). Dans le Bas-Saint-Laurent, les orignaux atteignent de fortes densités notamment dans les réserves fauniques de Matane et Dunière avec 3,3 individus /km² en 2012 (Lamoureux *et al.* 2012). Pendant l'hiver, ils se concentrent en petits groupes de quelques individus et tendent à réduire leurs mouvements journaliers (Risenhoover 1986). Au cours de cette période, ils augmentent l'utilisation des secteurs leur procurant un abri contre la neige, particulièrement ceux en bordure de peuplements leur fournissant une nourriture abondante (Dussault *et al.* 2005b). Au printemps, les orignaux ont tendance à s'approcher des routes à la recherche de mares enrichies par les sels de déglacement (Dussault *et al.* 2012). Il est fréquent pour les orignaux d'effectuer des migrations saisonnières entre des habitats d'été et d'hiver (Edwards et Ritcey 1956; Cederlund *et al.* 1987; White *et al.* 2014). Ce ne sont pas tous les individus qui migrent (48 %), au même titre que la dispersion des jeunes (30 %) et ces déplacements peuvent s'effectuer sur de courtes ou de moyennes distances (> 15 km) (Labonté *et al.* 1998; White *et al.* 2014).



2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Aire d'étude

L'aire d'étude (1 307 688 ha) regroupe les territoires de tenure privée (84,7 %) situés dans les limites administratives du Bas-Saint-Laurent, les territoires publics intra-municipaux (4,8 %), les aires protégées de désignation provinciale ou fédérale (2,6 %) et des territoires d'intérêt (7,9 %) (figure 1). La majorité de l'aire d'étude est ainsi occupée par les petites propriétés privées (75,8 %). On y trouve une variété de paysages avec plusieurs zones urbaines, un réseau routier bien développé, des lacs, des rivières, ainsi que plusieurs types de végétation qui offrent un excellent contexte pour évaluer la connectivité.

L'application d'une zone tampon est importante pour éliminer l'effet de bordure qui entraîne d'importants biais dans l'évaluation de la connectivité (Koen *et al.*, 2010). Une zone tampon minimale de 20 % de l'aire d'étude est suggérée lors de l'utilisation du logiciel *Circuitscape* (Koen *et al.* 2014). De manière à obtenir des résultats d'analyses valides à l'intérieur de l'aire d'étude, la zone modélisée comprend une zone tampon de 20 km autour des limites du Bas-Saint-Laurent (figure 2), ce qui équivaut à 40 % de l'aire d'étude. Dans cette zone, la qualité de l'habitat et la résistance ont été modélisées de façon précise pour une partie seulement du territoire, soit la Gaspésie et Chaudière-Appalaches. Le manque d'uniformisation avec les données disponibles au Nouveau-Brunswick et au Maine nous ont contraints à ne pas modéliser la qualité de l'habitat dans ces secteurs (figure 2). Se basant sur les travaux de Koen *et al.* (2010), des valeurs aléatoires de résistance y ont plutôt été affectées. La distribution des valeurs aléatoires étaient normales, avec une valeur moyenne équivalente à la résistance moyenne obtenue pour chacune des espèces.



Figure 1: Aire d'étude pour l'évaluation de la connectivité faunique à l'échelle du territoire privé du Bas-St-Laurent

NOTE IMPORTANTE:
Cette carte n'a aucune valeur légale

Sources de données:
Système de découpage administratif (MRNF 2008)
SIEF, 4e décennal (MFFP 2017)
Feuilles topographiques (GeoGratis 2017)
Réseau routier (MFFP 2017)
Produit cartographique d'empreinte humaine (CanVec 2017)
TIAP du Bas-St-Laurent (CRRNT 2013)

Projection: MTM6 - NAD83
Réalisation: May 2018



AGENCE RÉGIONALE DE
MISE EN VALEUR
DES FORÊTS PRIVÉES
DU BAS-SAINT-LAURENT

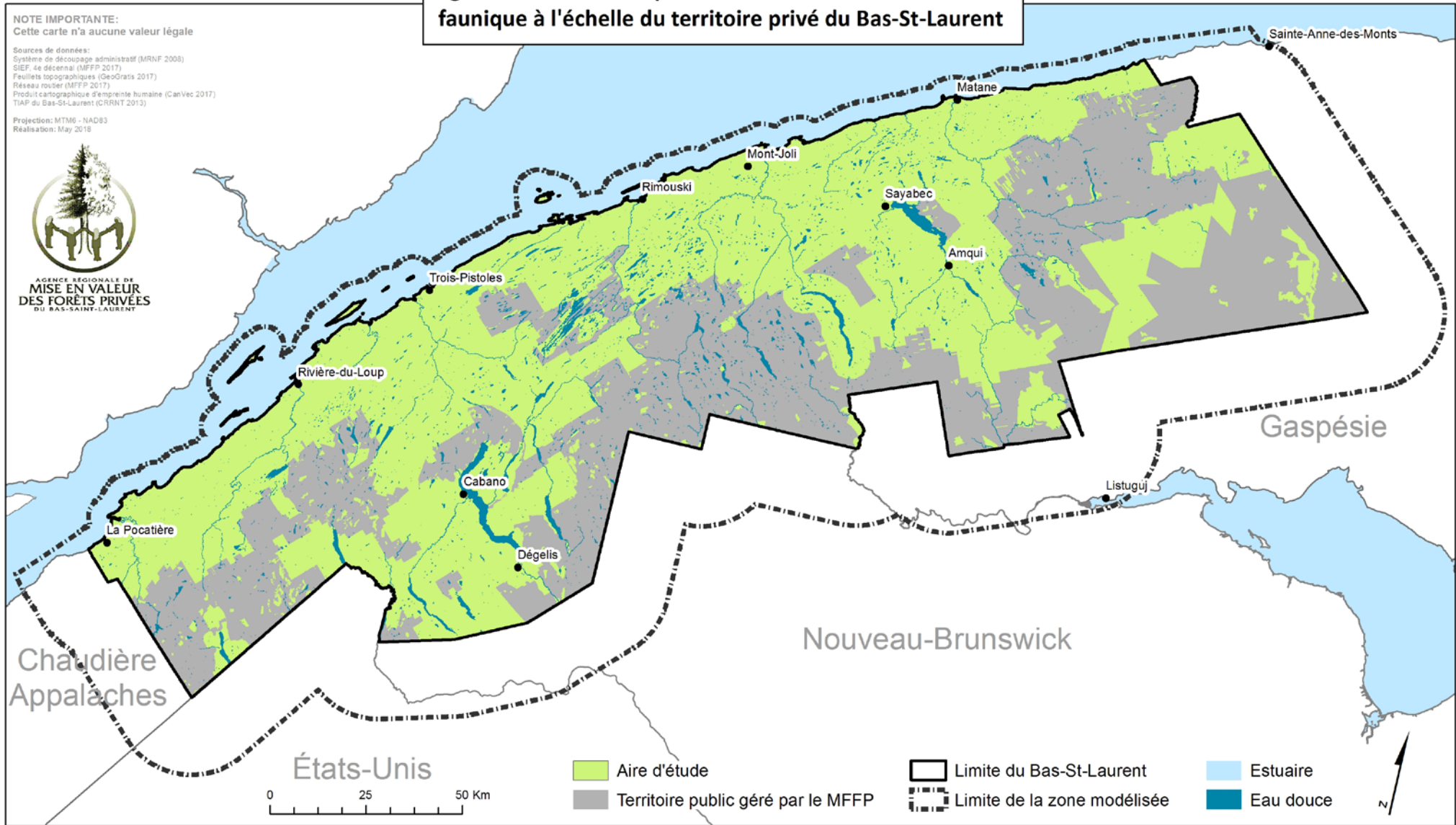


Figure 2: Zones de modélisation de la résistance pour l'évaluation de la connectivité faunique

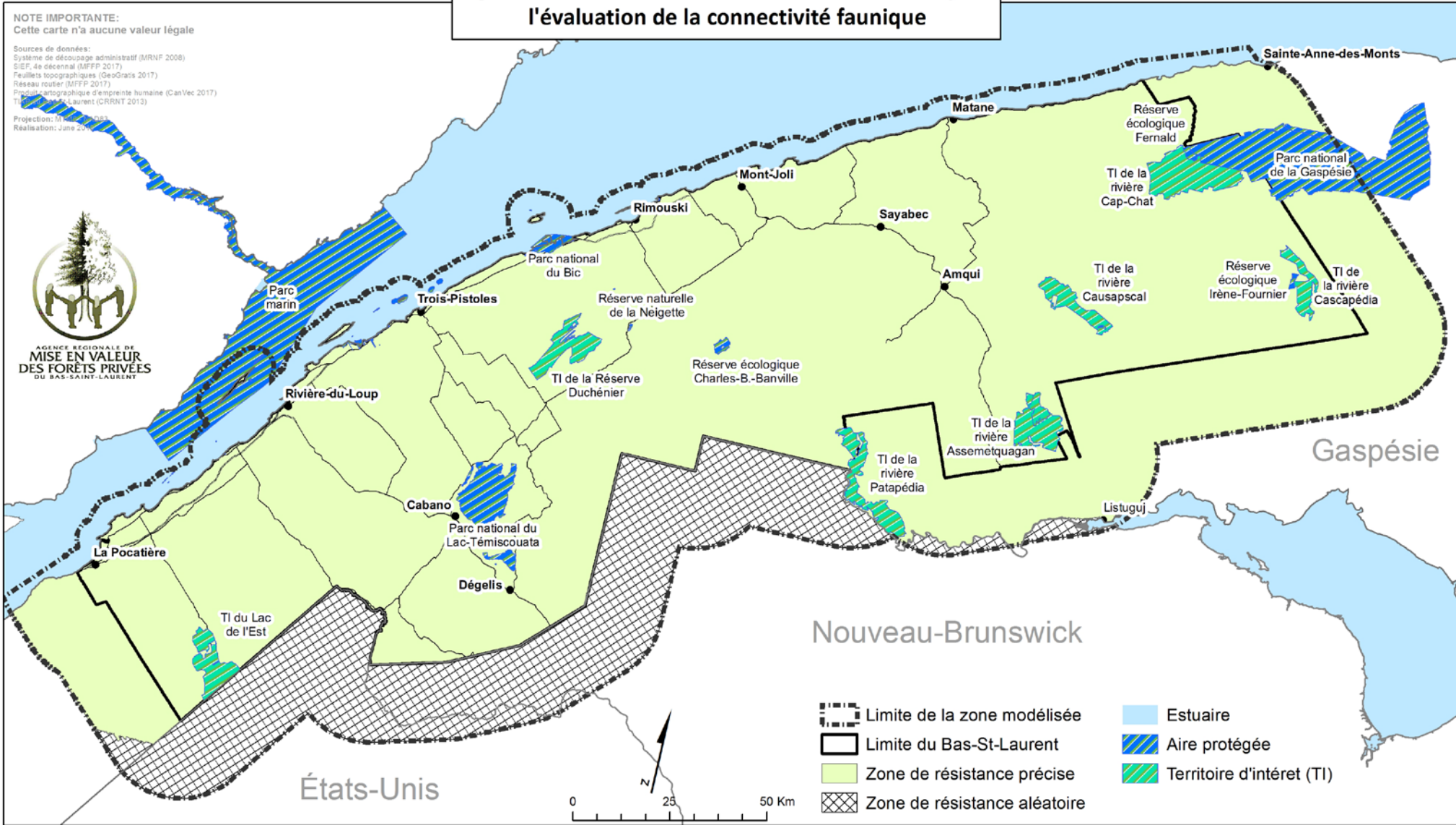
NOTE IMPORTANTE:
 Cette carte n'a aucune valeur légale

Sources de données:
 Système de découpage administratif (MRNF 2008)
 SIEF, 4e décennal (MFFP 2017)
 Feuilles topographiques (GeoGratis 2017)
 Réseau routier (MFFP 2017)
 Produit cartographique d'empreinte humaine (CanVec 2017)
 TI de la Gaspésie (Laurent (CRRNT 2013))

Projection: ITRF 2003
 Réalisation: June 2017



AGENCE RÉGIONALE DE
 MISE EN VALEUR
 DES FORÊTS PRIVÉES
 DU BAS-SAINT-LAURENT



- Limite de la zone modélisée
- Limite du Bas-St-Laurent
- Zone de résistance précise
- Zone de résistance aléatoire
- Estuaire
- Aire protégée
- Territoire d'intérêt (TI)

2.2 Géotraitement et sources de données

Les données à référence spatiale ont été traitées au moyen du logiciel ArcGIS 10 (ESRI 2011). Toutes les analyses ont été réalisées avec des données utilisant le système de projection NAD 1983 Québec Lambert. La préparation des matrices s'est effectuée à une résolution de 25 X 25 m pour permettre des analyses plus fines de connectivité au besoin. La connectivité a par contre été analysée à une résolution de 200 X 200 m considérant l'étendue du territoire à modéliser. La gestion des bases de données et les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team 2013). Les données utilisées proviennent de diverses sources:

- Feuilles 1 : 20 000 du système d'information écoforestière (SIEF) du MRN, 4^e inventaire décennal (à jour décembre 2017, données en ligne du MFFP);
- Feuilles topographiques du modèle digital d'élévation canadien (GeoGratis);
- Classification écologique du territoire du MFFP (données en ligne);
- Réseau routier du MFFP (données en ligne);
- Réseau routier forestier privé du SIEF 4^e inventaire décennal (à jour 2006) ;
- Débit journalier moyen annuel (DJMA), structures et conduits de drainage, clôture grande faune et projection du tracé d'autoroute de la 185 données du MTMDET (accès à l'information);
- Empreinte humaine (bâtiment, chemin de fer etc.) du produit cartographique digitale de référence des Ressources Naturelles du Canada (CanVec);
- Registre des aires protégées du gouvernement du Québec, incluant les parcs nationaux provinciaux et fédéraux, les réserves écologiques, les réserves naturelles, les refuges d'oiseaux migrateurs, etc.;
- Territoires d'intérêt pour la création d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent (CRRNT 2013b);
- Limites municipales et des MRC - Bureau de l'arpenteur géomètre du Québec;
- Orthophotos 2015 pour la validation; Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles
- Données d'observations d'*eBird* depuis *Nature Counts*;

2.3 Choix de la méthodologie

Il existe plusieurs outils et méthodes servant à modéliser la connectivité à une échelle territoriale donnée. Certains exercices de modélisation sont simplement réalisés par l'interprétation visuelle des cartes sur lesquelles des corridors sont tracés manuellement (Cormier *et al.* 2012). Toutefois, la connectivité est habituellement modélisée de manière à calculer les coûts (ou distances) écologiques du déplacement dans une matrice paysagère pour laquelle des valeurs de résistance sont appliquées. Cette



distance écologique entre une ou plusieurs paires de points (ou noyaux d'habitats) dans le paysage peut être mesurée par différentes méthodes (CRECQ 2014):

- la théorie des chemins ou de corridors de moindre coûts (LCP) (Adriaensen *et al.* 2003).
- la théorie des graphes (Foltête *et al.* 2012), qui relie en réseaux des points par des arêtes.
- la théorie des circuits, qui analyse le paysage comme un circuit électrique dont la résistance est un résistor (McRae *et al.* 2008).
- les modèles individus-centrés (Hargrove *et al.* 2005).

Certaines de ces méthodes peuvent faire appel à des résistances issues seulement d'éléments structuraux tels que le niveau d'intégrité du paysage ou la présence de couvert forestier, alors que d'autres combinent aussi des éléments de réponses fonctionnelles tels que la réaction comportementale ou la sélection d'habitat. Dans chaque cas, le type de connectivité évalué différera.

Dans leur revue de littérature, Wade *et al.* (2015) reconnaissent sept types de connectivité à l'échelle des paysages, soit la connectivité structurelle et six types de connectivité fonctionnelle qui sont étroitement reliées aux échelles spatiales et temporelles des mouvements (habitat journalier, migration saisonnière, démographique, génétique et changement de distribution). Comme Collinge (1998), ils décrivent la connectivité structurelle comme étant le degré de proximité physique des habitats, sans regard aux organismes qui y circulent. De son côté, la connectivité fonctionnelle est issue des interactions entre les espèces et le paysage et transmet le degré auquel ce dernier permet le mouvement des organismes. Il peut être suffisant pour fournir un ou tous les types de connectivité fonctionnels nommés précédemment et essentiels à pérennité des espèces.

De manière à identifier les secteurs ayant le potentiel d'être réellement utilisés par la faune, conformément aux objectifs de départ, la méthode retenue pour la modélisation de la connectivité fonctionnelle se base sur la théorie des graphes et des circuits électriques. Cette approche permet d'identifier les zones de déplacements démographiques les plus probables entre des noyaux d'habitats tels que des échanges ou la dispersion d'individus se produisant entre des sous-populations. En assurant ainsi le transport des gènes au fil du temps et en minimisant, par le fait même, la perte de variabilité génétique, ce niveau de connectivité permet de maintenir la résilience des populations face à des événements stochastiques tels que ceux engendrés par les changements climatiques. Les connexions identifiées seraient donc plus favorables aux mouvements des populations résultant de tels phénomènes.



2.3.1 *Circuitscape*

Le logiciel *Circuitscape* 4.0 a été utilisé pour modéliser la connectivité à la manière des circuits électriques (McRae *et al.* 2013). Celui-ci requiert deux matrices pour effectuer les calculs, soit une première contenant les parcelles d'habitats à connecter (noyaux) et une seconde correspondant à la résistance du paysage aux déplacements. Les paysages sont représentés comme étant des surfaces conductrices où de faibles valeurs de résistance sont attribuées aux endroits perméables aux déplacements alors que les barrières et autres entraves obtiennent des valeurs de résistance élevées.

Cette approche offre des avantages distincts par rapport à d'autres méthodes d'analyse en calculant à travers le paysage la résistance effective, le courant et la tension desquels peuvent être associés des processus écologiques tels le flux génétique des populations et le mouvement d'individus n'ayant pas de connaissance à priori du territoire. En plus d'avoir la capacité d'évaluer la contribution de plusieurs voies de dispersion, la sortie d'analyse permet d'identifier les goulots d'étranglement (traduction libre de "*bottleneck*"). Finalement, le logiciel permet de prendre en compte certaines contraintes logistiques dont la capacité de traitement par ordinateur qui est limitant à l'échelle et au degré de précision utilisés (taille des pixels).

Pour compléter les résultats d'analyses de *Circuitscape*, le chemin de moindre coût (LCP) a aussi été calculé depuis la matrice de distance de plus faible coût cumulé avec le logiciel R. Cette approche met en évidence le chemin le plus optimal qui serait utilisé pour un individu familier avec le territoire pour se déplacer entre deux noyaux. Les intersections entre le réseau routier et les LCP de l'original et du cerf de Virginie ont été identifiés et classés selon leur potentiel accidentogène. Ce dernier a été évalué en utilisant les résultats de régressions logistiques conditionnelles de Laliberté et St-Laurent (travaux non publiés) et la moyenne de l'intensité du courant maximal dans un rayon de 500 m.

2.3.2 *Actualisation de la cartographie écoforestière*

Pour prendre en compte les effets de la fragmentation et de la perte d'habitat associés au réseau routier, une surface a été attribuée aux routes en tenant compte de leurs largeurs moyennes (tableau 1) selon les chartes de construction et des mesures *in situ*. La cartographie écoforestière a par la suite été mise à jour (figure 3) avec le réseau routier surfacique.



Tableau 1. Largeurs moyennes des chemins et routes en comptant leur emprise.

| Catégories de chemins | Largeur (m) |
|------------------------------|-------------|
| Route à 1 voie ¹ | 10 |
| Route à 2 voies ¹ | 14 |
| Route à 3 voies ¹ | 30 |
| Route à 4 voies ¹ | 40 |
| Autoroute | 100 |
| Route collectrice | 40 |
| Hors norme | 34 |
| Chemin forestier classe 1 | 26 |
| Chemin forestier classe 2 | 20 |
| Chemin forestier classe 3 | 18 |
| Chemin forestier classe 4 | 8 |
| Chemin d'hiver | 5 |

¹Valeur minimale, mais possiblement remplacée par les catégories subséquentes.



Figure 3. Exemple de résultats de surfaces de routes obtenues depuis les largeurs totales moyennes établies pour a) les autoroutes, b) les grands chemins forestiers et c) les petits chemins forestiers.

2.4 Évaluation de la qualité de l'habitat

2.4.1 Grimpereau brun

Basé sur une revue de la littérature, appuyé par notre comité d'experts et inspiré de l'IQH de Sansregret et Blanchette (2003), un IQH a été développé pour évaluer la qualité de l'habitat du grimpereau brun à l'échelle de notre aire d'étude. Celui-ci varie entre 0 et 1, où 0 représente l'habitat le plus évité par l'espèce, 0,5 un habitat utilisé dans les mêmes proportions qu'il est disponible et 1 l'habitat le plus



fortement sélectionné par l'espèce. Les valeurs de 1 à 0,5 ont été attribuées aux habitats forestiers, alors que les valeurs de 0,45 à 0 ont été attribuées aux habitats sans couvert forestier. Il s'agit d'un ajout à l'IQH de Sansregret et Blanchette (2003) qui attribue une même valeur (la valeur la plus faible) à tous les habitats sans couvert forestier, sans discriminer l'évitement qui leur est associé. En plus d'identifier les secteurs ayant le plus grand potentiel d'offrir les attraits nécessaires à l'établissement de l'espèce, l'IQH proposé permettra d'identifier les secteurs qui seront davantage imperméables aux déplacements du grimpeur brun, basé sur leur composition.

La portion de l'IQH relative aux habitats forestiers considère la fermeture du couvert et la hauteur du peuplement, deux paramètres identifiés par Sansregret et Blanchette (2003) comme étant importants pour prédire l'occurrence de l'espèce (tableau 2, tableau 3). Les valeurs attribuées à ces deux paramètres sont celles issues des relations mises en évidence par les auteurs. Étant donné qu'aucune donnée uniforme de chicots n'est disponible à l'échelle de l'aire d'étude, ce paramètre n'a pas été inclus dans l'analyse et il a plutôt été remplacé par le stade de développement (tableau 4). En plus de contenir davantage de chicots (Angers 2009), les vieilles forêts forment une variable déterminante utilisée dans le modèle de Poulin *et al.* (2008) pour prédire l'utilisation d'un site de nidification par le grimpeur brun. Le stade de développement des peuplements forestiers a été déterminé à partir de la classification de l'Agence (



annexe 2) qui tient compte à la fois des essences dominantes et de l'âge des peuplements. Pour les besoins de l'exercice, trois catégories ont été ajoutées pour discriminer plus finement certains stades de développement, soit la présence de couvert forestier, les coupes (≤ 5 ans) et les perturbations naturelles (≤ 30 ans). En effet, les caractéristiques structurelles des coupes récentes diffèrent grandement de celles des peuplements de plus de 6 ans et de celles des perturbations naturelles qui sont davantage susceptibles de laisser sur place de grandes quantités de chicots. La présence ou non d'un couvert forestier a été déterminée par l'occurrence dans la cartographie écoforestière d'une perturbation, d'un type de couvert ou d'un dénudé et semi-dénudé sec. Les coupes de moins de 5 ans n'ont pas été considérées dans la catégorie du couvert forestier. De plus, dans nos analyses, le stade de développement n'était pas corrélé (0,05) avec la classe de hauteur.

Tableau 2. Valeur du paramètre de hauteur de l'IQH du grimpeur brun (1: ≥ 22 m, 2: $>22-17$ m, 3: $>17-12$ m, 4: $>12-7$ m, 5: $>7-4$ m, 6: $>4-2$ m, 7: >2 m).

| Hauteur | Valeur |
|---------|--------|
| 1 | 1,00 |
| 2 | 0,90 |
| 3 | 0,80 |
| 4 | 0,20 |
| 5 | 0,15 |
| 6 | 0,10 |
| 7 | 0,00 |
| - | 0,00 |

Tableau 3. Valeur du paramètre de densité du couvert de l'IQH du grimpeur brun (A: ≥ 80 %, B: $>80-60$ %, C: $>60-40$ %, D: $>40-25$ %).

| Densité | Valeur |
|---------|--------|
| A | 0,15 |
| B | 0,25 |
| C | 0,50 |
| D | 1,00 |
| - | 0,00 |



Tableau 4. Valeur du paramètre de stade de développement de l'IQH du grimpeur brun.

| | Stade de développement | Valeur |
|------------------------------|-------------------------|--------|
| Couvert forestier | Suranné | 3,00 |
| | Mature | 2,00 |
| | Jeune | 1,00 |
| | Régénération | 0,50 |
| | Perturbation naturelles | 1,00 |
| | - | 0,25 |
| Absence de couvert forestier | Jeunes coupes (≤ 5 ans) | 0,25 |
| | - | 0,00 |

La qualité de l'habitat forestier du grimpeur brun a été évaluée comme suit :

$$\text{Qualité de l'habitat forestier} = \text{Hauteur} + \text{Densité} + \text{Stade de développement}$$

Cette valeur a été normalisée entre 1 et 0,5, après quoi les valeurs des habitats non forestiers (tableau 5) ont été ajoutées pour compléter l'IQH du grimpeur brun, qui varie entre 0 et 1.

Tableau 5. Valeur de qualité de l'habitat du grimpeur brun pour les caractéristiques non forestière du paysage.

| Caractéristique du paysage | Valeur |
|----------------------------------|--------|
| Îles | 0,45 |
| Inondés | 0,35 |
| Aulnaies | 0,25 |
| Dénudés humides | 0,20 |
| Eau | 0,15 |
| Lignes de transport d'énergie | 0,15 |
| Secteurs anthropiques | 0,00 |
| Agriculture, gravières et routes | 0,00 |

Suite au calcul de l'IQH, les valeurs des habitats forestiers ont été négativement pondérées de 20 % dans les 100 premiers mètres des peuplements forestiers pour prendre en compte l'effet de bordure qui s'y applique (Poulin et Villard 2011).



2.4.2 Grand pic

Comme pour le grimpeur brun, l'IQH développé pour le grand pic varie entre 0 et 1, où 0 représente l'habitat le plus évité par l'espèce, 0,5 un habitat utilisé dans les mêmes proportions qu'il est disponible et 1 l'habitat le plus fortement sélectionné par l'espèce. Les valeurs de 1 à 0,5 ont été attribuées aux habitats forestiers, alors que les valeurs de 0,45 à 0 ont été attribuées aux habitats sans couvert forestiers. En plus d'identifier les secteurs ayant le plus grand potentiel d'offrir les attraits nécessaires à l'établissement de l'espèce, l'IQH proposé permettra d'identifier les secteurs qui seront davantage imperméables aux déplacements du grand pic, basé sur leur composition.

La portion de l'IQH relative aux habitats forestiers a été évaluée en se basant en partie sur l'IQH développé par Lafleur et Blanchette (1993) tout en intégrant les nouvelles connaissances développées depuis cette date. Par exemple, en ce qui concerne le paramètre de la composition en essences, plusieurs études ont démontré que l'utilisation des peuplements de feuillus tolérants à l'ombre différerait de celle des peuplements intolérants (Savignac *et al.* 2000). Pour refléter cette réalité, les paramètres proposés par Lafleur et Blanchette (1993) ont été modifiés tels que présentés dans le tableau 6. Les valeurs de densité et de hauteur ont elles aussi été ajustées pour exprimer une caractérisation plus fine des différences observées entre les peuplements forestiers (tableau 7).

Tableau 6. Valeur du paramètre de composition en essence (CE) pour l'IQH du grand pic en fonction du type de couvert forestier (Feuillus (F)/ Mixte (M)/ Résineux (R)) et des regroupements d'essences (Feuillus tolérants à l'ombre (FT)/ feuillus intolérants à l'ombre (FI)/ essence résineuse (R)).

| Type de couvert | Groupe d'aménagement | Valeur |
|---|----------------------|--------|
| F | FT | 3,00 |
| F | FI | 2,75 |
| M | FT | 2,50 |
| M | FI | 2,25 |
| M | R | 2,00 |
| R | R | 1,00 |
| - | - | 0,00 |
| Pinède rouge et blanche, prucheraie et cédrière | | 2,00 |



Tableau 7. Valeur du paramètre de densité-hauteur de l'IQH du grand pic en fonction de la densité (A: ≥80 %, B: >80-60 %, C: >60-40 %, D: >40-25 %) et de la hauteur (1: ≥22 m, 2: >22-17 m, 3: >17-12 m, 4: >12-7 m, 5: >7-4 m, 6: >4-2 m) du peuplement forestier.

| Densité-hauteur (DH) | Valeur |
|----------------------|--------|
| A1 | 3,00 |
| A2-B1 | 2,75 |
| B2 | 2,50 |
| A3-C1 | 2,25 |
| C2-D1-B3 | 2,00 |
| A4-C3-D2 | 1,75 |
| A5-B4 | 1,50 |
| B5-C4-D3 | 1,25 |
| C5-D4 | 1,00 |
| D5 | 0,75 |
| 6 | 0,50 |
| - | 0,00 |

Aucune donnée uniforme concernant les chicots étant disponible à l'échelle de notre aire d'étude, ce paramètre a été soustrait du modèle pour être remplacé par le stade de développement qui a été intégré au modèle dans les mêmes proportions que dans l'IQH de Lafleur et Blanchette (1993). En plus d'offrir une plus grande disponibilité de chicots, les peuplements âgés, contiennent davantage d'arbres de grands diamètres (Angers 2009), un élément structurel essentiel à la présence des pics (Lafleur et Blanchette 1993; Gasse 2007) (tableau 8). Basé sur les travaux de Savignac et al. (2000) et sur la quantité de grands arbres disponibles dans les peuplements surannés, ceux-ci ont une valeur inférieure à celle des peuplements matures.

Tableau 8. Valeur du paramètre de stade de développement (SD) de l'IQH du grand pic.

| | Stade de développement (SD) | Valeur |
|------------------------------|-----------------------------|--------|
| Couvert forestier | Suranné | 0,70 |
| | Mature | 1,00 |
| | Jeune | 0,25 |
| | Régénération | 0,15 |
| | Perturbation naturelles | 0,25 |
| | - | 0,10 |
| Absence de couvert forestier | Jeunes coupes (≤ 5 ans) | 0,10 |



Analyse de la connectivité faunique sur le territoire privé du Bas-St-Laurent

| | | |
|--|---|------|
| | - | 0,00 |
|--|---|------|

La qualité de l'habitat forestier du grand pic s'est évaluée comme suit :

$$\text{Qualité de l'habitat forestier} = \left(\left(\frac{\sqrt{DH * CE}}{3} \right) + SD \right)$$

Ces valeurs ont été normalisées entre 1 et 0,5, après quoi les valeurs des habitats non forestiers (tableau 9) ont été ajoutées pour compléter l'IQH du grand pic, qui varie entre 0 et 1.

Tableau 9. Valeur de la qualité de l'habitat du grand pic pour les caractéristiques non forestières du paysage.

| Caractéristique du paysage | Valeur |
|----------------------------------|--------|
| Îles | 0,45 |
| Inondés | 0,35 |
| Aulnaies | 0,25 |
| Dénudés humides | 0,20 |
| Eau | 0,15 |
| Lignes de transport d'énergie | 0,15 |
| Secteurs anthropiques | 0,10 |
| Agriculture, gravières et routes | 0,00 |

Finalement, considérant que l'espèce se trouve préférentiellement à basse altitude (Beasley 2013), cette variable a aussi été intégrée au modèle.

$$IQH = \text{Valeur de qualité de l'habitat} - (0,001 * \text{altitude})$$

L'altitude en mètre est une valeur moyenne dans un rayon de 500 m. L'IQH est par la suite normalisé entre 0 et 1.

2.4.3 Cerf de Virginie et orignal

La qualité de l'habitat du cerf de Virginie et de l'orignal, ont été évaluées à l'aide de fonctions de sélection des ressources (RSF) (Manly *et al.* 2002). Celles-ci comparent les attributs du paysage présents à des localisations réels d'individus (utilisation) et un nombre égal de points distribués aléatoirement dans le domaine vital de ces individus (disponibilité). Les RSF utilisées ont été développées par Laliberté et St-Laurent (travaux non publiés) depuis des localisations d'individus provenant du Bas-Saint-Laurent (tableau 10, tableau 11) et issues de colliers émetteurs GPS. Les résultats de RSF ont été normalisés entre 0 et 1.



Tableau 10. Coefficients de fonction de sélection des ressources du cerf de Virginie développés par Laliberté et St-Laurent (travaux non publiés) depuis des localisations d'individus au Bas-Saint-Laurent.

| Variables de la RSF | Coefficient |
|---|-------------|
| Ordonnée à l'origine | -1,117 |
| Peuplements décidus matures (> 60 ans) | 0,195 |
| Peuplements résineux matures (> 60 ans) | 0,359 |
| Peuplements immatures (41- 60 ans) | -0,017 |
| Perturbations naturelles (\leq 20 ans) | 0,792 |
| Vielles coupes (6-20 ans) | 0,830 |
| Jeunes coupes (\leq 5 ans) | 0,677 |
| Milieux humides | -4,57 |
| Eau | -2,419 |
| Humain | -0,310 |
| Autre | -0,708 |
| Distance à la route | -0,554 |
| Distance à une étendue d'eau | -0,292 |
| Élévation | 9,406 |
| Élévation * élévation | -19,249 |
| Pente | 0,116 |

* Catégorie de référence: régénération (21-40 ans)

Tableau 11. Coefficients de fonction de sélection des ressources de l'original développés par Laliberté et St-Laurent (travaux non publiés) depuis des localisations d'individus au Bas-Saint-Laurent.

| Variables de la RSF | Coefficient |
|---|-------------|
| Ordonnée à l'origine | -0,739 |
| Peuplements décidus matures (> 60 ans) | -0,282 |
| Peuplements immatures (40-60 ans) | 0,341 |
| Régénération (20-40 ans) et perturbations naturelles (\leq 20 ans) | 0,024 |
| Coupes (\leq 20 ans) | 0,202 |
| Eau libre et milieux humides | -1,252 |
| Autre | -0,456 |
| Distance à la route | 0,940 |

* Catégorie de référence: peuplement résineux mature (> 60 ans)



2.5 Noyaux d'habitats

Les noyaux d'habitats à connecter ont été sélectionnés à partir des meilleurs habitats identifiés par la modélisation de la qualité de l'habitat des différentes espèces. La valeur moyenne dans un rayon de 500 m des valeurs de RSF ou d'IQH ont été employées pour la sélection des noyaux. Pour que les différents résultats d'analyses de connectivité soient comparables entre les espèces, un nombre équivalent de noyaux a été sélectionné pour chacune d'elles. L'ajout de noyaux augmentant exponentiellement le temps de traitement des données (Pelletier *et al.* 2014 : Appendix S3), le nombre de noyaux a été limité par la capacité de calcul des ordinateurs disponibles soit à environ 75. Le critère de sélection des noyaux était adapté en fonction de l'espèce, considérant que les résultats de qualité d'habitat varient grandement (tableau 12).

Tableau 12. Synthèse des critères de sélection des noyaux d'habitats à connecter pour les quatre espèces ciblées.

| Espèces | Valeur de qualité d'habitat sélectionnée | Taille minimale des noyaux dans la zone ouest (ha) | Taille minimale des noyaux dans la zone est (ha) | Nombre de noyaux sélectionnés |
|------------------|--|--|--|-------------------------------|
| Grand pic | > 0,80 | 500 | 500 | 74 |
| Grimpereau brun | > 0,80 | 50 | 100 | 75 |
| Cerf de Virginie | > 0,07 | 500 | 500 | 79 |
| Orignal | > 0,06 | 300 | 800 | 76 |

De plus, la dichotomie entre l'ouest et l'est de l'aire d'étude dans la composition des peuplements forestiers (domaine de la sapinière à bouleau jaune versus domaine de la sapinière à bouleau blanc), d'altitude et de pente, ont nécessité un ajustement de la superficie minimale pour la sélection des noyaux pour chacune des deux zones. La combinaison des unités de paysage régional du Lac Casault, de la Rivière Matapédia et de Les Méchins ont été utilisées pour délimiter les deux zones puisqu'elles discriminaient le mieux les caractéristiques du paysage à départager (figure 4).



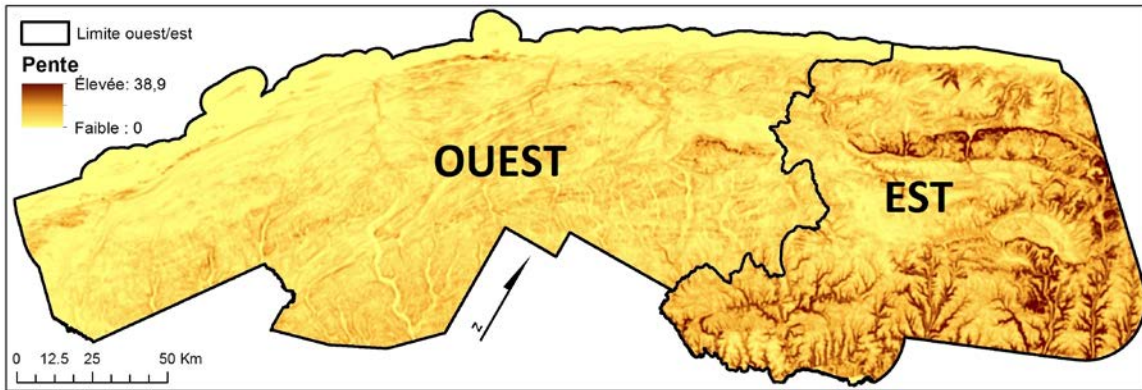


Figure 4. Séparation ouest/est de l'aire d'étude utilisée pour la sélection des noyaux d'habitats à connecter basée sur la dichotomie observée notamment dans le registre des pentes.

Dans le cas particulier du cerf de Virginie, la très grande dichotomie des résultats de RSF entre l'ouest et l'est de l'aire d'étude (figure 5) a plutôt nécessité de normaliser les deux zones indépendamment pour la sélection des noyaux. Ceci est principalement dû à la variable altitude mesurée au carré dans l'évaluation de la RSF et à la présence de valeurs très élevées d'autres paramètres, qui sortent des plages de valeurs dans lesquelles la RSF a initialement été développée.



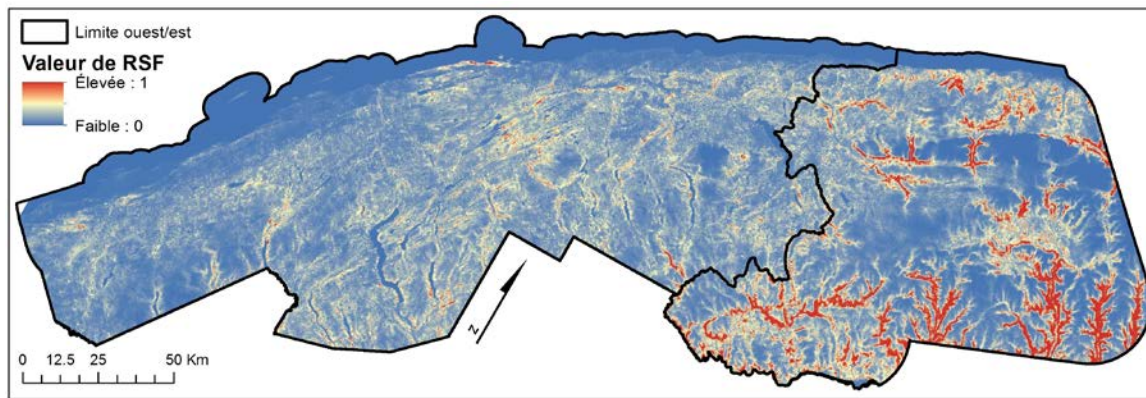


Figure 5. Résultat brut de la fonction de sélection de ressource (RSF) du cerf qui illustre la grande dichotomie observée entre l'ouest et l'est de l'aire d'étude.

La superficie du réseau routier pour lequel une valeur de DJMA était disponible a été soustraite aux polygones de noyaux pour déconnecter ceux qui se trouvent fragmentés par des zones de résistance importantes. Aussi, certains noyaux étaient localisés en grappe et ceux qui étaient situés à moins de 1 km les uns des autres ont été regroupés afin de générer des zones connexes plus grandes (Nordén 2016; Albert et al. 2017). Cette distance est inférieure à celle de 2 km proposée par Environnement Canada (2013). De plus, les noyaux séparés par une route pour laquelle une valeur de DJMA était disponible n'ont pas été joints pour éviter que les zones centrales ne contiennent des barrières.

Dans le cas du grimpereau brun, la superficie des 100 premiers mètres du couvert forestier a été soustraite de la superficie des noyaux d'habitats. Ainsi, ces parcelles ne comprennent pas de bordure et représentent, dans une certaine mesure, des habitats d'intérieur.

La grande taille des noyaux sélectionnés offre une superficie d'habitats de bonne qualité suffisamment grande pour que les espèces cibles puissent combler la majorité de leurs besoins. Le grand pic, par exemple, nécessite de 40 à 1 000 ha pour l'établissement de son domaine vital (Lafleur et Blanchette, 1993) qui peut se morceler entre plusieurs parcelles d'habitat. Des études menées dans l'est du Canada ont établies que le grimpereau brun nécessitait des peuplements d'un minimum de 11 ha (Poulin *et al.* 2008) soit l'équivalent de la taille du domaine vital du cerf de Virginie (Lesage *et al.* 2000). Bien que l'orignal possède un domaine vital beaucoup plus grand (6,4 à 42,1 km² en forêt boréale (Dussault *et al.* 2005a)), la taille minimum des noyaux sélectionnés permet d'offrir des habitats de bonne qualité suffisamment grands pour combler plusieurs de leurs besoins. De plus, la grande taille des noyaux est



susceptible de procurer des caractéristiques de forêts d'intérieur et de réunir une diversité de peuplements forestiers qui seront intéressants pour une plus grande gamme d'espèces, augmentant l'intérêt de les connecter entre eux. Environnement Canada (2013) a d'ailleurs établi que la superficie minimale qu'un boisé doit avoir pour supporter une grande diversité d'oiseaux forestiers est d'environ 200 ha. Cette valeur est surpassée par toutes nos espèces, à l'exception du grimpeur brun dont la taille des noyaux exclue les 100 premiers mètres du peuplement forestier.

2.6 Résistance du paysage

Le défi associé aux analyses de connectivité consiste à transposer le plus fidèlement possible l'effet des différents éléments du paysage en valeurs de résistance représentatives de l'effet limitant qu'ils entraînent sur les déplacements des espèces considérées. Peu d'études ont testé la sensibilité des valeurs de résistance sur la prédictibilité des déplacements fauniques (St-Louis *et al.* 2014). Les méthodes d'attribution des valeurs de résistance se sont multipliées et la majorité des études s'appuient sur l'opinion d'experts pour l'évaluer (WHCWG 2010; Dickson *et al.* 2014). Les études divergent grandement sur l'amplitude des valeurs de résistance utilisées, qui peuvent s'étendre de 1 à 15 comme de 1 à 1000 (Dickson *et al.* 2014; Nordén 2016). Considérant que le présent exercice ne chiffre pas les valeurs de courant et que l'approche préconisée est qualitative plutôt que quantitative, la valeur attribuée à un élément de résistance a peu d'importance. Ce sont les proportions entre les différents éléments de résistance qui doivent être considérées (Koen *et al.* 2012). Les matrices de résistance ont été créées en additionnant les couches de résistance d'habitats, de bâtiments et de routes. Cette méthode permet de prendre en compte l'effet cumulé des entraves aux déplacements. Par exemple, il est ainsi plus coûteux de circuler autour d'une habitation dans la zone qui est affectée par la présence d'une route que sous un couvert forestier. Cette approche permet d'avoir une discrimination plus fine des éléments du paysage que l'approche qui est souvent préconisée où la valeur de résistance la plus élevée prévaut sur les autres (figure 6). Ainsi, une valeur élevée de résistance représente une plus grande entrave aux déplacements.



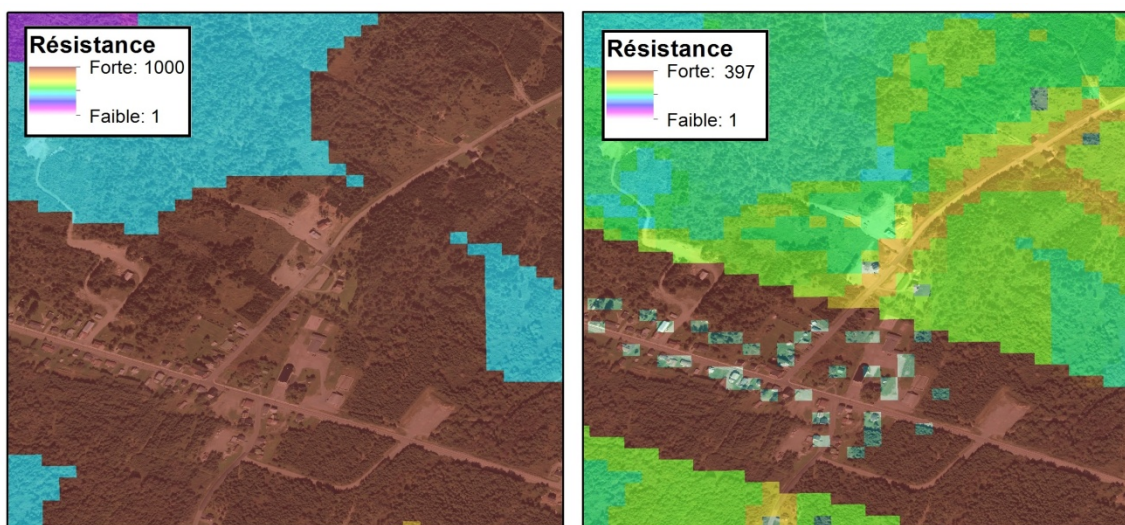


Figure 6. Comparatif entre une matrice de résistance pour laquelle les valeurs les plus élevées priment sur les autres (gauche) et une matrice où les valeurs sont additionnées. Les orthophotos de 2015 sont utilisées en transparence pour illustrer les éléments du paysage engendrant de la résistance. L'étendue des valeurs de résistance représente celle observée à l'échelle de l'aire modélisée.

2.6.1 Espèces de fin de succession

Les variables composant la matrice de résistance, visent à capturer le changement de comportement entraîné par les différentes structures du paysage pour les espèces d'oiseaux ciblées en plus de traduire leur capacité vagile respective. Considérant que les oiseaux en migration sont stimulés par des motivations de déplacement différentes de celles qui les animent en période de dispersion (Villard *et al.* 1995), les valeurs de résistance sont établies en regard de la période de dispersion.

Les mêmes variables ont été utilisées pour les deux espèces, mais les valeurs de résistance ont été ajustées pour chacune d'entre elles (tableau 13). La résistance de l'habitat illustre en fait l'inverse de la qualité de l'habitat. Les variables de «bâtiment» font référence à l'évitement dû aux infrastructures et à la présence de l'homme. Les rayons de 200 et 500 m dans lesquels les valeurs de résistance sont appliquées, sont basées sur les distances auxquelles le grimpeur brun et le grand pic sont davantage sensibles aux caractéristiques du paysage (Lemaître 2009). Les variables de «débit routier journalier» ont elles aussi été conservées considérant que l'évitement associé aux routes, pour les oiseaux forestiers, est principalement associé au bruit (Summers *et al.* 2011; Villard *et al.* 2012). La variable «distance au



couvert forestier» transcrit la forte tendance des oiseaux forestiers à éviter les déplacements en milieu ouvert (Bélisle et Desrochers 2002; Robichaud *et al.* 2002). De manière à prendre en considération les capacités vagiles respectives des deux espèces, les valeurs de résistance associées à la distance diffèrent entre le grimpereau brun et le grand pic. Toutes les valeurs de résistance ont été additionnées, toutefois, les variables de bâtiments ne se superposaient pas.

Tableau 13. Variables utilisées pour la création des matrices de résistance du grand pic et du grimpereau brun.

| Variable | Valeur de résistance grand pic | Valeur de résistance grimpereau brun |
|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| Habitat | 1-100 | 1-100 |
| Éolienne | 100 | 100 |
| Bâtiment (rayon de 15m) | 120 | 150 |
| Bâtiment (rayon de 200m excluant le rayon de 15m) | 35 | 75 |
| Bâtiment (rayon de 500m excluant le rayon de 200m) | 10 | 25 |
| Réseau routier pavé | 10 | 10 |
| Débit routier journalier 1 | 25 | 75 |
| Débit routier journalier 2 | 50 | 100 |
| Débit routier journalier 3 | 75 | 150 |
| Débit routier journalier 4 | 100 | 250 |
| Distance au couvert forestier | 0-200 | 0-300 |

Pour le grimpereau brun, la relation entre la résistance et la distance au couvert forestier est inspirée de celle décrite par Desrochers et Hannon (1997) où la présence d'un espace à franchir de 30 m avait peu d'impact sur le mouvement des oiseaux, alors qu'ils étaient de 3 à 8 fois moins enclins à traverser un espace de respectivement 70 et 100 m. La relation entre la distance au couvert forestier et la probabilité de franchir l'ouverture est non linéaire (Robertson et Radford 2009) avec une distance de 50 mètres fréquemment identifiée comme frein aux déplacements des oiseaux forestiers (Desrochers et Hannon 1997; Robertson et Radford 2009). La formule suivante a donc été appliquée pour transformer la distance en résistance.

$$\text{Résistance} = 342 * e^{-65,5/\text{Distance}}$$



Cette relation permet d'avoir une diminution graduelle de l'effet de l'augmentation de la distance sur l'augmentation de la résistance avec le plus fort de la pente avant les 100 premiers mètres et une augmentation presque nulle au-delà de 500 m (figure 7). Les valeurs de résistance ont été plafonnées à 300, ce qui équivaut à celles obtenues à 500 m.

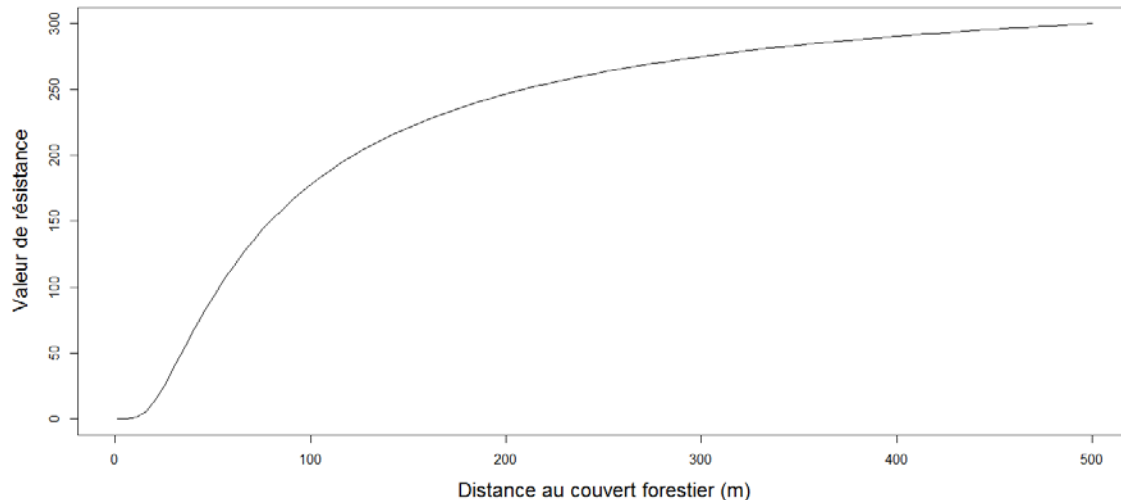


Figure 7. Relation entre la distance au couvert forestier et la valeur de résistance pour le grimpereau brun.

Considérant que les pics sont généralement plus enclins à traverser des secteurs inhospitaliers que les autres oiseaux forestiers (Bélisle et Desrochers 2002) et qu'ils possèdent de plus grandes capacités vagiles (Robert *et al.* 2002), les valeurs de résistance associées à la distance au couvert forestier qui ont été établies pour le grand pic sont moins contraignantes que pour le grimpereau brun. Ces dernières ont été divisées par 2,5 avec une valeur maximale de résistance de 200.

2.6.2 Espèces de début de succession

Les valeurs de résistance utilisées pour les espèces associées aux peuplements de début de succession sont résumées dans le (tableau 14) et elles s'inspirent de celles utilisées pour les espèces de fin de succession tout en apportant des modifications de manière à mieux capturer leur capacité de déplacement. Pour illustrer l'évitement entraîné par la présence de l'homme associée aux infrastructures, deux rayons avec un effet croissant de la résistance ont été utilisés. Pour les mêmes



raisons, en plus du bruit associé à ces infrastructures (Helldin *et al.* 2012; Averbek 2015), une valeur de résistance a été accordée aux éoliennes (actuelles et en construction) dans un rayon de 500 m. Pour le réseau routier, les variables de «débit routier journalier» représentent chacune un quartile de la distribution de fréquence de la moyenne annuelle du débit routier journalier. La variable «plan d'eau» fait référence aux polygones identifiés comme «EAU» dans la cartographie écoforestière. Certaines variables ont remplacé les valeurs de résistance précédentes puisque leurs effets ne sont pas cumulatifs. Par exemple, cela évitait qu'un tronçon de route obtienne des valeurs de résistance plus élevées s'il traversait un cours d'eau.

Tableau 14. Variables utilisées pour les matrices de résistance du cerf de Virginie et de l'original.

| Entraves et évitement | Valeur de résistance | Traitement |
|---|----------------------|--------------------------|
| Inverse de la qualité de l'habitat | 1-100 | Addition des valeurs |
| Éolienne (rayon de 100 m) | 100 | |
| Bâtiments (rayon de 200 m) | 75 | |
| Bâtiments (rayon de 500 m excluant le rayon de 200 m) | 25 | |
| Réseau routier pavé | 30 | |
| Débit routier journalier 1 | 50 | |
| Débit routier journalier 2 | 75 | |
| Débit routier journalier 3 | 100 | |
| Débit routier journalier 4 | 200 | |
| Plans d'eau | 200 | Remplacement des valeurs |
| Escarpements rocheux | NA | |
| Bâtiments (rayon de 15 m) | NA | |
| Clôtures à grande faune | NA | |
| Passages fauniques et structures | 100 | |

Pour la grande faune, certaines variables ont été considérées comme étant infranchissables. Basé sur la méthodologie de (Nordén 2016), aucune valeur de résistance (NoData) n'a été attribuée à ces variables pour lesquelles aucune valeur de connectivité n'est alors calculée (McRae *et al.* 2013). Cette méthode permet de faire ressortir le caractère infranchissable d'une barrière pour laquelle une simple valeur de résistance élevée (p.ex. 1000) ne permet pas d'empêcher le mouvement (figure 8). Parmi les obstacles infranchissables se trouvent les escarpements rocheux ($\geq 70^\circ$), les clôtures à grande faune et la présence



physique d'un bâtiment (15 m de rayon autour des éléments ponctuels de bâtiments). Pour limiter l'effet de barrière des routes et clôtures, le modèle développé prévoit une valeur de résistance plus faible aux endroits où des structures facilitent les déplacements de la grande faune, telles que les passages fauniques ou des ponts. Le potentiel des structures de plus de 1,5 m (ponts, ponceaux, etc.) à être utilisées par la grande faune et ainsi améliorer la perméabilité du réseau d'autoroutes a été évalué visuellement à l'aide des photos du MTMDET, propres à chaque ouvrage.

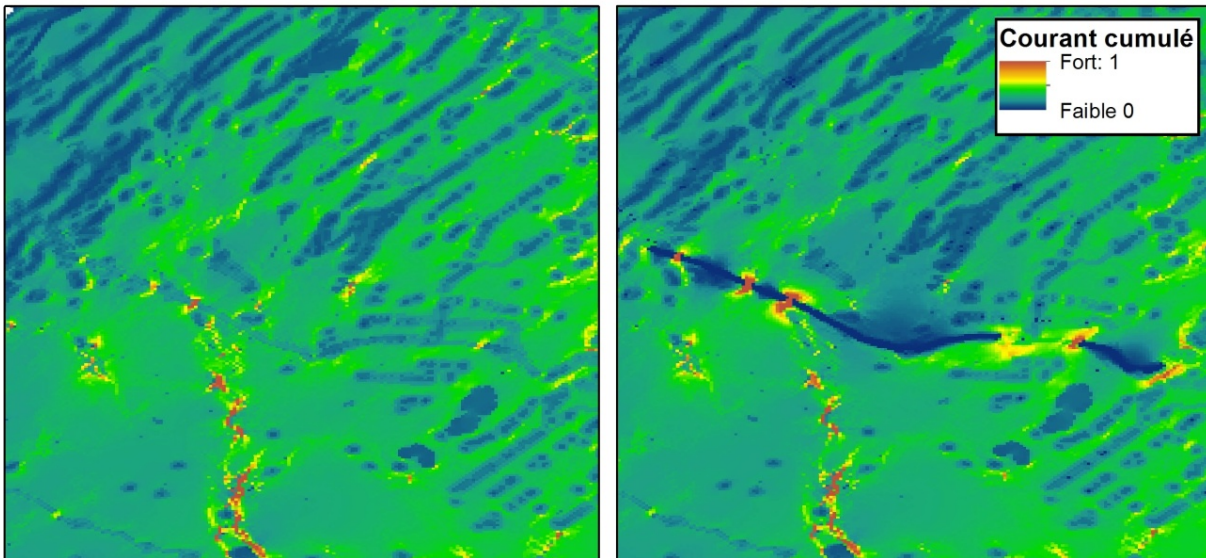


Figure 8. Valeur du courant cumulé issu d'une analyse de connectivité de *Circuitscape* avec une valeur de résistance de 1 000 pour une route dans l'exemple de gauche et d'une valeur nulle dans l'exemple de droite.

La matrice de la qualité de l'habitat du cerf de Virginie a dû être modifiée en raison de la distribution de fréquence des résultats de la RSF (figure 9), où plus de 97,5 % des pixels occupent moins de 10 % de la plage des valeurs. Les attributs du paysage spécifiques, retrouvés dans l'est de l'aire d'étude et qui sortent de la plage de valeurs pour laquelle la RSF a initialement été développée, couplé à la présence d'un facteur exponentiel dans le calcul de la RSF, expliquent en grande partie cette situation. Les valeurs de RSF de plus de 0,1 ont donc été regroupées, ce qui permet d'obtenir des valeurs de résistance qui varient en fonction des différents éléments du paysage. Contrairement à la sélection des noyaux, la RSF n'a pas été normalisée indépendamment entre l'ouest et l'est pour l'évaluation de la résistance.



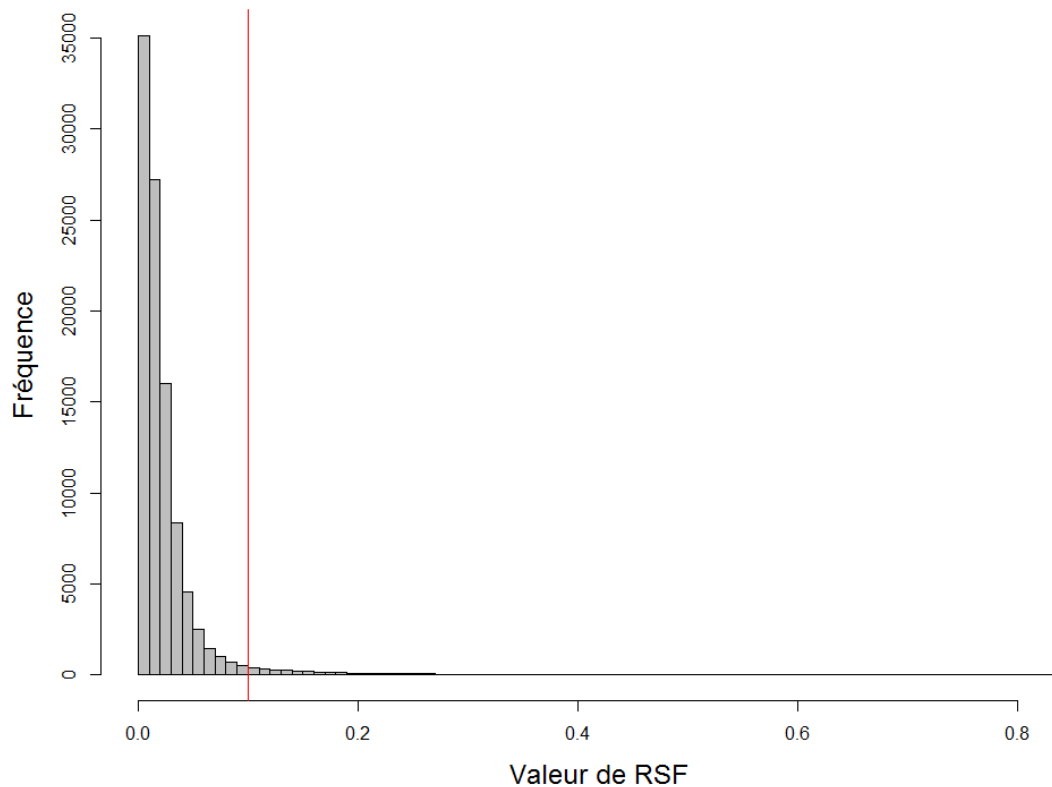


Figure 9. Distribution de fréquence des valeurs de RSF du cerf de Virginie normalisées entre 0 et 1, avec une barre verticale rouge à $X = 0,1$.

2.7 Analyse de connectivité

L'analyse de la connectivité a été réalisée pour chacune des espèces, mais seuls les résultats additionnés par groupes sont discutés (début et fin de succession). Pour ce faire, les résultats d'espèces ont été normalisés entre 0 et 1 avant d'être additionnés, ce qui permet d'avoir une vision globale de la connectivité faunique au Bas-Saint-Laurent. Il sera ainsi possible de prioriser les zones selon leur intensité et leur potentiel à connecter les noyaux d'habitats, les aires protégées et les territoires d'intérêt. Les secteurs où la connectivité est déficiente ou « fragile » seront identifiés ultérieurement par des analyses complémentaires.

Les résultats bruts de courant cumulé ont dû être ajustés pour être interprétés de manière plus juste puisque ceux-ci présentaient nécessairement des valeurs plus élevées au centre de l'aire d'étude (annexe 3b). Cela est engendré par la forme allongée de l'aire d'étude pour laquelle la région centrale joue un rôle important pour relier toutes les zones entres-elles (ouest/centre/est). Il a aussi été vérifié que ce



phénomène n'était pas causé par le positionnement des noyaux en modélisant la connectivité à l'aide de noyaux uniformément répartis dans la zone tampon de l'aire d'étude (annexe 3a), conformément à la méthode utilisée par Koen *et al.* (2014). Les résultats étaient comparables à ceux obtenus à l'aide de noyaux réels, ce qui a permis de confirmer que le biais était engendré la forme de l'aire modélisée. Pour corriger cet effet, les résultats de courant cumulé ont donc été normalisés par rapport à la distance au centre de l'aire d'étude selon l'équation qui suit :

$$\text{Courant cumulé normalisé} = \text{Courant cumulé} + (\text{courant cumulé} * \text{distance au centroïde})$$

2.8 Validation des résultats

Les modèles de qualité de l'habitat des deux espèces d'oiseaux ont fait l'objet d'une validation sommaire avec une méthodologie similaire à celle utilisée par Albert *et al.* (2017), en comparant à l'aide d'un test de *t*, la distance à un habitat de bonne qualité entre les localisations d'*eBird*, fournies par *Nature Counts* et celle provenant d'un nombre équivalent de points aléatoires. Les habitats de bonne qualité étaient composés des 20 % de meilleurs habitats qui formaient une zone continue de plus de 10 ha. De manière à limiter l'effet de bordure dans le calcul des distances et à conserver une zone tampon, seules les localisations situées à l'intérieur des limites du Bas-Saint-Laurent ont été conservées. Les doublons d'occurrence pour une même localisation ont été retirés de même que les localisations datées d'une même journée situées à moins de 1 km. Finalement, les localisations situées dans les agglomérations ont elles aussi été retirées en raison du biais associé à la concentration des observateurs. À cet effet, il importe de garder en tête que la méthode de validation proposée engendre tout de même un biais par rapport à la fréquentation des sites et l'accessibilité du territoire. Effectivement, les points d'observations sont presque exclusivement localisés à proximité de routes ou de sentiers, ce qui est surtout problématique dans le cas du grimpereau brun, une espèce davantage associée aux forêts d'intérieur.

La qualité de l'habitat du cerf de Virginie a été validée en comparant avec un test de *t* la valeur moyenne de la RSF dans les ravages (incluant les aires de confinements du cerf) et une redistribution aléatoire de ces mêmes ravages dans les limites du Bas-Saint-Laurent. La concordance des matrices de qualité de l'habitat du cerf de Virginie et de l'original avec celles obtenues par Laliberté et St-Laurent (travaux non



publiés) a été validée visuellement. Ceux-ci ont d'ailleurs effectués une validation plus approfondie de leurs résultats.

Ultérieurement, une étape de validation devra être effectuée pour le cerf de Virginie et l'orignal en comparant les résultats d'analyse de connectivité avec les données de collisions routières impliquant la faune de la SAAQ et celles de la collecte de carcasses du MTMDET. En ce qui a trait aux oiseaux forestiers, il sera vraisemblablement possible de valider les résultats d'analyse à partir des points d'écoute du deuxième Atlas des oiseaux nicheurs du Québec (Nature Counts, 2018). Dans les deux cas, une validation terrain des corridors devra aussi être réalisée.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Au total, les noyaux des quatre espèces couvrent une superficie de 544 805 ha ce qui représente 17,5 % de la surface modélisée avec précision et pour laquelle une valeur de qualité d'habitat était disponible (Figure 10). Les noyaux du grimpereau brun occupent une superficie de 11 583,6 ha (\bar{x} = 154,4; ÉT = 140,6), ceux du grand pic, 128 870,3 ha (\bar{x} = 1 741,5; ÉT = 2 661,6), ceux de l'orignal, 204 704,1 ha (\bar{x} = 2 591,2; ÉT = 5 567,4) et ceux du cerf de Virginie, 167 302,2 ha (\bar{x} = 2 117,7; ÉT = 2 872,7). Les noyaux des espèces sont complémentaires puisque seulement 5,9 % des superficies se superposaient. De plus, ceux-ci permettent à l'intérieur d'un même groupe (espèce de début et de fin de succession) d'identifier des secteurs différents à connecter. Par exemple, les noyaux du grand pic forment une grande bande parallèle au fleuve à la longueur du Bas-Saint-Laurent, alors que ceux du grimpereau brun se situent d'avantages près des frontières du Nouveau-Brunswick et du Maine.



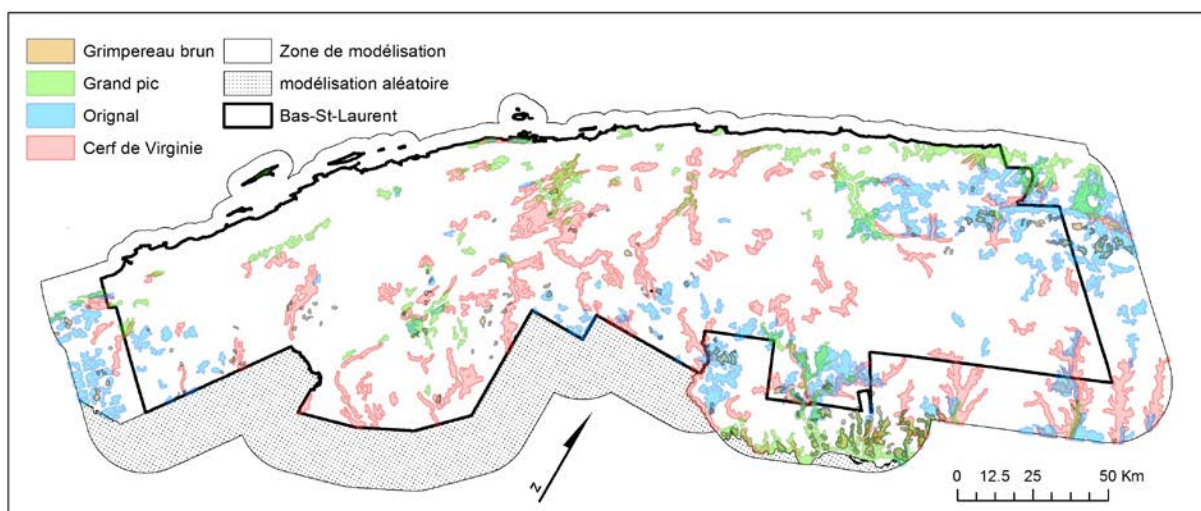


Figure 10. Noyaux des meilleurs habitats disponibles à l'échelle de la zone de modélisation pour le grimpeau brun, le grand pic, l'original et le cerf de Virginie.

Les validations des modèles de qualité de l'habitat à l'aide d'un test de *t* de *Student* ont montré que les localisations de grimpeau brun ($t = -3,69$; $df = 597,72$; $p = 0,0002$) et de grand pics ($t = -5,18$; $df = 537,13$; $p < 0,0001$) étaient significativement plus près d'une parcelle de bon habitat que les localisations aléatoires. La qualité de l'habitat du cerf de Virginie dans les ravages réels était significativement plus élevée que dans les ravages aléatoirement distribués ($t = 452,13$; $df = 2\ 057\ 000$; $p < 0,0001$).

3.1 Analyses de connectivité

L'analyse de la connectivité faunique a été effectuée à l'échelle de la région administrative du Bas-Saint-Laurent. Bien que le présent rapport ne discute que des résultats qui concernent le territoire privé, ceux-ci ne peuvent être interprétés que s'ils sont présentés dans le contexte global du territoire pour lequel ils ont été modélisés. Le résultat final d'analyse de connectivité impliquant les noyaux régulièrement distribués dans le pourtour du Bas-Saint-Laurent (annexe 3) sont très similaires à ceux obtenus avec des noyaux composés des meilleurs habitats pour le courant cumulé. Par contre, pour les résultats de courant maximal, les noyaux régulièrement distribués dans le pourtour du Bas-Saint-Laurent ne peuvent être interprétés considérant que ces noyaux n'ont pas de valeur écologique particulière. Seuls les résultats compilés d'analyses de connectivité réalisées à l'aide de noyaux issus des meilleurs habitats



sont donc présentés en détails. Les résultats des analyses pour chaque espèce sont disponibles en annexe (grimpereau brun, annexe 4; grand pic, annexe 5; cerf de Virginie, annexe 6; orignal, annexe 7).

3.1.1 Interprétation générale des analyses

Les résultats de cette étude ont permis d'identifier les secteurs présentant le plus fort potentiel pour le maintien de la connectivité relative à l'échelle régionale. Ces résultats restent toutefois théoriques et doivent faire l'objet de validations; ils ne représentent donc pas nécessairement l'utilisation réelle du territoire faite par les espèces étudiées qui pourrait témoigner de la connectivité dite effective.

Les figures du flux de courant cumulé représentent la somme du courant résultant de la connexion de toutes les paires de noyaux de manière itérative. Elles mettent en évidence la centralité de chaque pixel, c'est-à-dire leur contribution au maintien de la connexion de l'ensemble du réseau de noyaux. Tel que décrit à la section 2.7, les résultats de courant cumulé présentés ont tous été corrigés (à l'exception de ceux illustrés à l'annexe 3) pour la forme de l'aire d'étude de manière à présenter non pas la centralité géographique des pixels, mais leur centralité écologique.

De leurs côtés, les figures du flux de courant maximal présentent la valeur la plus élevée qu'un pixel a obtenu lorsque toutes les paires de noyaux ont individuellement été connectées. Cette valeur normalisée met en évidence les trajets ayant la plus grande probabilité d'être utilisés par des individus ayant une faible connaissance du territoire pour se déplacer directement entre les paires de noyaux. Des individus ayant une connaissance parfaite du territoire et désirant se déplacer entre deux noyaux auraient quant à eux plus de chance d'utiliser les chemins de moindre coût. Les hautes valeurs de courant maximum (rouge) sont fortement associées à la présence de noyaux et, du point de vue de la connectivité, ce sont donc les valeurs moyennes (jaune à vert pâle) qui offrent le plus grand intérêt, puisqu'elles illustrent les liens de connections entre les différents noyaux.

3.1.2 Résultats d'analyses pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession

Les résultats d'analyse pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession (figure 11), présentent les zones importantes à la fois pour le grand pic et pour le grimpereau brun. La forte intensité du courant cumulé se situe presque exclusivement sur le territoire public, notamment dans le secteur du lac de l'Est, de la tête des lacs Pohénégamook et Témiscouata, ainsi que de la réserve faunique Duchénier (11a). Certains secteurs du domaine privé montrent aussi des valeurs relatives élevées de courant cumulé. Notamment le long d'une mince bande parallèle au fleuve entre La Pocatière et la



réserve faunique Duchénier, ainsi qu'entre l'ouest du lac de l'Est et le lac Matapédia par l'entremise de la tête des lacs Pohénégamook et Témiscouata. Le parc national du Bic et la bande forestière qui s'y rattache à l'ouest, bien que de petite taille, présentent de fortes valeurs, mais se trouvent isolés du reste du système par la route 132 et l'empreinte humaine qui y est associée. D'ailleurs, il ressort de cette analyse que le courant relatif cumulé est de très faible intensité sur la bande de quelques kilomètres de profondeur située en bordure du fleuve et ce, particulièrement dans le secteur des Basses-terres du Saint-Laurent où les pressions anthropiques sont les plus élevées. En plus des zones urbaines, on y trouve une plus grande utilisation du territoire à des fins agricoles qui nuisent aux déplacements des espèces forestières associées aux peuplements de fin de succession. Le même phénomène s'observe dans le secteur d'Amqui où de faibles valeurs sont également présentes. Le rajeunissement de la matrice forestière et l'intensité des pratiques sylvicoles sont aussi des facteurs importants qui influencent la connectivité pour ces espèces. Ainsi, dans l'est du Bas-Saint-Laurent, l'aménagement forestier est plus intensif et on y trouve peu de noyaux, puisque ceux-ci sont généralement constitués d'agglomérations de vieux peuplements. Conséquemment, la contribution de cette zone au maintien de la connectivité au sein du réseau de noyaux est plus faible. En générale, dans les secteurs de faible connectivité relative, la carence en peuplements en fin de succession est un élément important sur lequel il y aurait lieu d'agir pour améliorer la perméabilité du paysage aux oiseaux forestiers, le maintien de leurs populations et celle des autres espèces qui y sont associées. À long terme, l'évolution naturelle des peuplements forestiers au sein des territoires d'intérêt ou des aire protégées aurait le potentiel de contribuer à l'établissement de noyaux d'habitats importants pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession.

La figure 12b présentant le courant maximal permet de faire ressortir sensiblement les mêmes axes de connectivité que ceux décrits pour le courant cumulé, en illustrant les corridors les plus susceptibles de relier les noyaux d'habitats. Les liens de connexion entre les différents noyaux sont visuellement mis en évidence par les chemins de moindre coût (figure 13b). Il est ainsi possible d'identifier les liens de connexion qui permettent de relier les aires protégées et les territoires d'intérêt, qui peuvent être considérés en priorité lors de la mise en place d'actions de restauration ou de conservation de la connectivité. Ces territoires sont importants pour la connectivité tant au niveau de leur centralité que pour leur fort potentiel à être utilisé par la faune pour se déplacer (tableau 15), particulièrement la réserve naturelle de la Neigette, la réserve écologique Charles-B.-Banville, le parc national du Lac



Témiscouata et la réserve faunique Duchénier. Il faut toutefois savoir que tous les territoires d'intérêt n'ont pas le même objectif de conservation, si certains regroupent des éléments de biodiversité importants d'autres représentent les habitats disponibles à l'échelle de la région. Les caractéristiques propres à chaque territoire d'intérêt sont décrites par Lavoie *et al.* (2012).

En somme, les résultats obtenus par les analyses de courant cumulé et de courant maximal permettent d'obtenir une vision d'ensemble des besoins de connectivité relative aux espèces associées aux peuplements forestiers de fin de succession.

Tableau 15. Moyenne et écart type (ÉT) du courant cumulé et maximal des aires protégées et territoires d'intérêt pour la création d'aires protégées pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession (en comparatif avec la moyenne au Bas-Saint-Laurent).

| Nom | | Courant cumulé | | Courant maximal | | Superficie au BSL (ha) |
|----------------------|----------------------------------|----------------|-------|-----------------|-------|------------------------|
| | | Moyenne | ÉT | Moyenne | ÉT | |
| Parc national | de la Gaspésie | 0,179 | 0,043 | 0,081 | 0,030 | 11 528 |
| | du Bic | 0,228 | 0,132 | 0,175 | 0,117 | 1 858 |
| | du Lac-Témiscouata | 0,327 | 0,105 | 0,166 | 0,088 | 17 533 |
| Réserve | écologique Charles-B.-Banville | 0,329 | 0,054 | 0,202 | 0,090 | 1002 |
| | écologique Fernald | 0,202 | 0,034 | 0,087 | 0,015 | 736 |
| | écologique Irène-Fournier | 0,116 | 0,009 | 0,044 | 0,004 | 434 |
| | naturelle de la Neigette | 0,333 | 0,076 | 0,199 | 0,040 | 79 |
| Territoire d'intérêt | de la réserve faunique Duchénier | 0,292 | 0,088 | 0,095 | 0,050 | 9 952 |
| | de la rivière Assemetquagan | 0,290 | 0,062 | 0,118 | 0,051 | 11 954 |
| | de la rivière Cap-Chat | 0,204 | 0,048 | 0,093 | 0,036 | 18 587 |
| | de la rivière Cascapédia | 0,105 | 0,023 | 0,043 | 0,010 | 5 896 |
| | de la rivière Causapsal | 0,183 | 0,038 | 0,034 | 0,010 | 7 635 |
| | de la rivière Patapédia | 0,265 | 0,048 | 0,070 | 0,017 | 1 919 |
| | du Lac de l'Est | 0,284 | 0,091 | 0,157 | 0,087 | 9 585 |
| Bas-Saint-Laurent | | 0,222 | 0,096 | 0,067 | 0,048 | 2 250 000 |

3.1.3 Résultats d'analyses pour les espèces associées aux peuplements de début de succession

Les résultats pour les espèces de début de succession sont généralement cohérents avec les connaissances sur la répartition de ces espèces dans l'aire d'étude. D'une part, pour le cerf de Virginie, la principale zone de forte centralité (annexe 6a) se situe au nord et à l'est du lac Témiscouata, le secteur le plus favorable à l'espèce au Bas-Saint-Laurent. D'autre part, les deux zones présentant le courant cumulé



(annexe 7a) le plus fort pour l'original, sont les deux secteurs du domaine public ayant la plus grande superficie continue d'habitat de haute qualité pour l'espèce (CRRNTBSL 2013a). Le secteur au sud-ouest du parc national de la Gaspésie est aussi reconnu pour être très propice à l'original dû au rajeunissement de la matrice forestière. Par contre, à l'ouest et au nord-ouest du parc, le courant cumulé y est plus faible qu'attendu considérant la grande superficie des noyaux d'habitats à y connecter. Cela est dû au fait que l'habitat y est de très bonne qualité et que pour les mêmes critères de sélection, les noyaux y sont plus gros et rapprochés qu'ailleurs, ce qui a entraîné leur regroupement puisqu'ils se trouvent à moins de 1 km de distance. Il y a donc moins de noyaux à connecter dans ce secteur, un facteur qui influence grandement l'analyse de *Circuitscape*. Pour faire ressortir le plus grand attrait qu'offre une grande parcelle d'habitat pour la faune comparativement à une de plus petite taille, il importe donc d'avoir des noyaux d'une taille comparable et de subdiviser, au besoin, une grande parcelle. Ce facteur devra être corrigé dans les suites du projet.

Les résultats de l'analyse pour les espèces associées aux peuplements de début de succession (figure 12) combinent les zones importantes à la fois pour le cerf de Virginie et l'original. Ils permettent de faire ressortir une zone de fort courant cumulé sur le territoire public et privé, notamment au nord du lac de l'Est, à la tête du lac Pohénégamook et du parc national du lac Témiscouata, ainsi qu'au territoire limitrophe avec le Nouveau-Brunswick au centre de l'aire d'étude (figure 12a). Comme pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession dans ce secteur, l'axe entre le parc national du lac Témiscouata et la réserve faunique Duchénier présente des valeurs élevées. Le parc national du Bic et la bande forestière qui s'y rattache à l'ouest se trouvent aussi déconnectés par la route 132. Finalement, le bord du fleuve affiche, en général, des valeurs plus faibles de connectivité relative pour ces deux espèces.

Les clôtures à grande faune prévues lors de la construction de la 85, entre les municipalités de Saint-Antonin et de Saint-Louis-du-Ha! Ha!, entraînent un effet de barrière important et obligent le courant à transiter par les structures aménagées pour le passage de la grande faune ou celles facilitant leurs déplacements (ponts, ponceaux, etc.). Dans la présente analyse, ces endroits représentent des points très centraux puisqu'ils sont utilisés à de nombreuses reprises pour connecter les noyaux d'habitats de chaque côté de la future autoroute 85. Ce résultat met l'accent sur la nécessité de mettre en place des passages fauniques qui permettront la circulation des individus et des gènes, ainsi que l'importance de



prendre les mesures (aménagement forestier, protection et gestion) nécessaires pour s'assurer que ces structures seront efficacement utilisées par la grande faune.

La figure 12b présentant le courant maximal permet de faire ressortir sensiblement les mêmes axes de connectivité que ceux décrits pour le courant cumulé en illustrant les corridors les plus susceptibles de relier les noyaux d'habitats. Elle permet, elle aussi, de faire ressortir l'importance des aires protégées et des territoires d'intérêt dans le maintien de la connectivité pour les espèces associées aux peuplements de début de succession. Les liens de connexion entre les différents noyaux sont visuellement mis en évidence par les chemins de moindre coût (figure 13a). Ceux-ci interceptent par endroit le réseau routier plus fortement achalandé représenté par le DJMA. Ces endroits représentent des secteurs où la grande faune a de fortes chances de traverser la route et ils sont donc illustrés en fonction de leur potentiel accidentogène (figure 14). Un potentiel plus faible n'indique pas que le risque soit faible, mais plutôt que le risque de collision, comparé aux autres intersections identifiées à l'échelle du Bas-Saint-Laurent, est moindre.



Figure 11 : Sommation des résultats d'analyses de *Circuitscape* pour les espèces associées aux peuplements de fin de succession

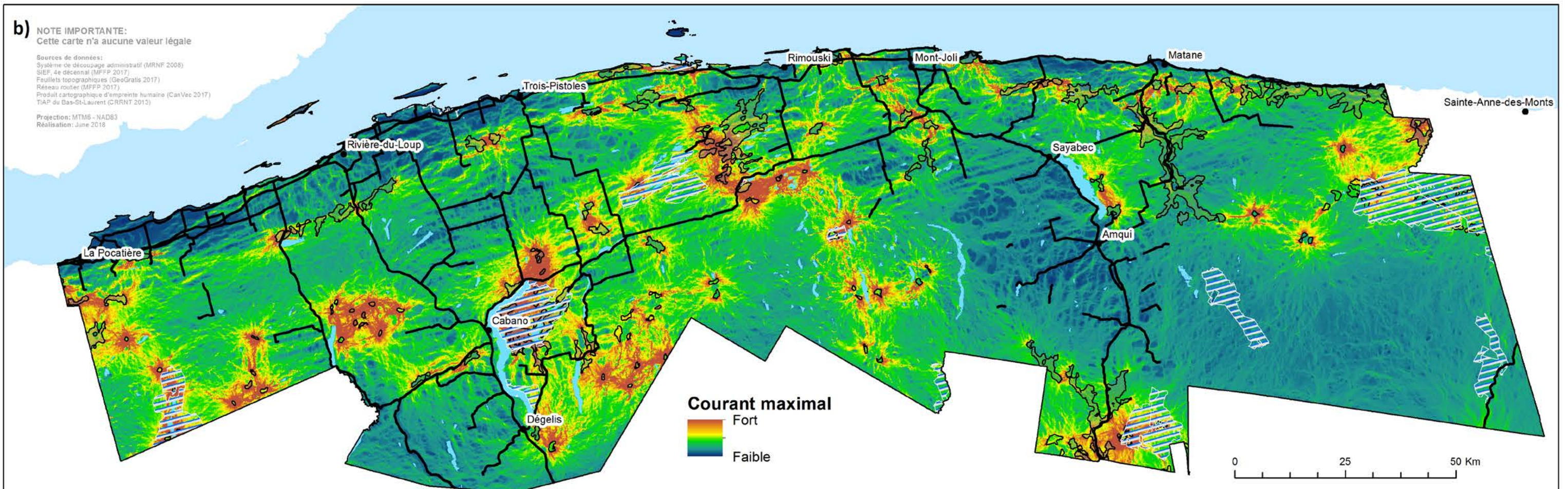
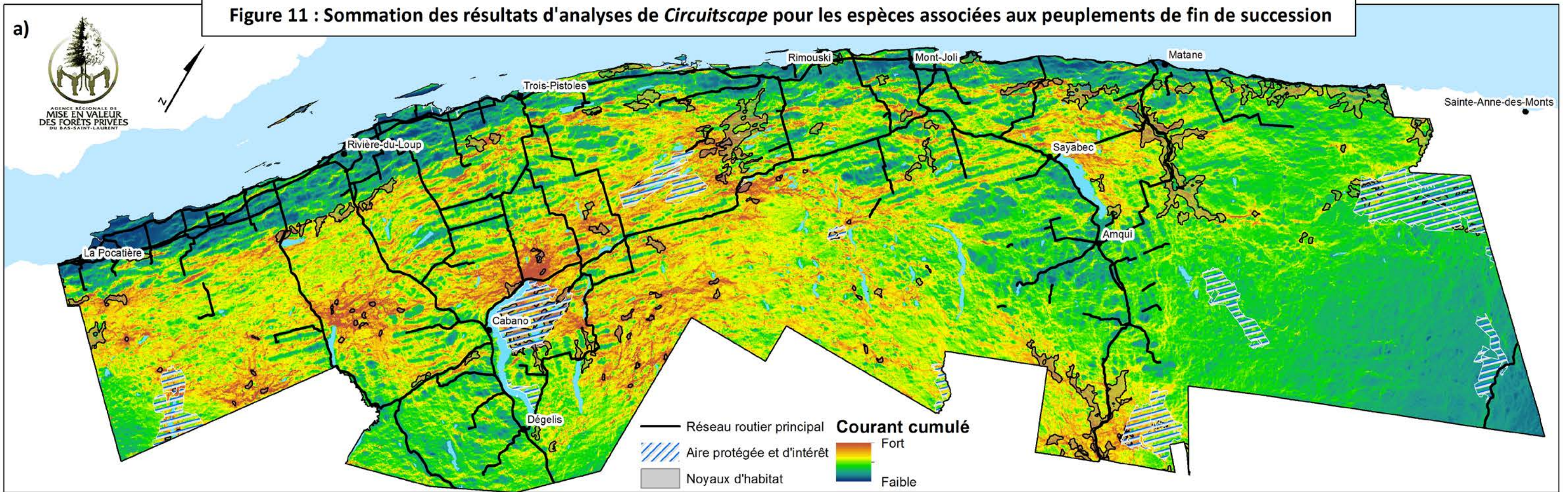


Figure 12 : Sommation des résultats d'analyses de *Circuitscape* pour les espèces associées aux peuplements de début de succession

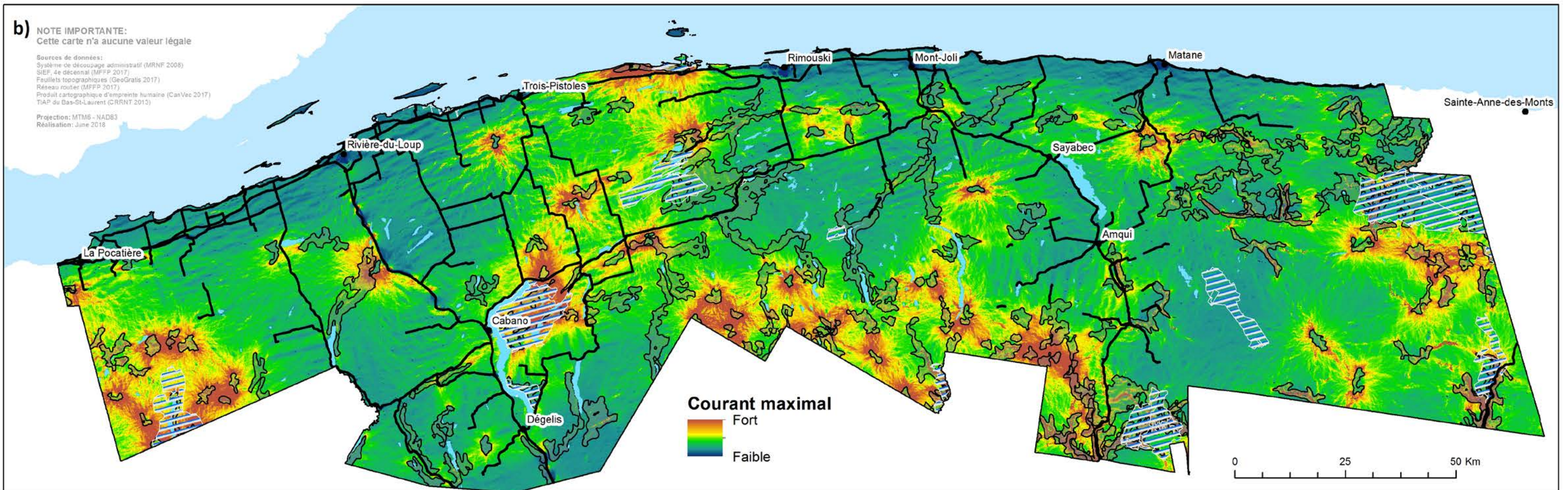
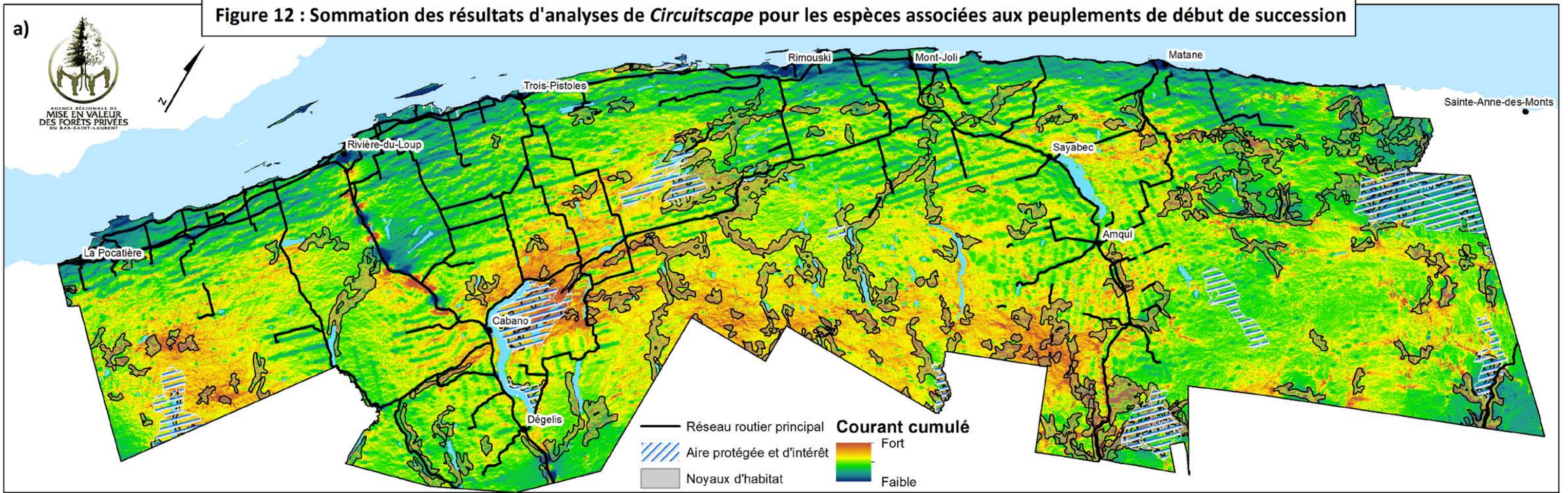
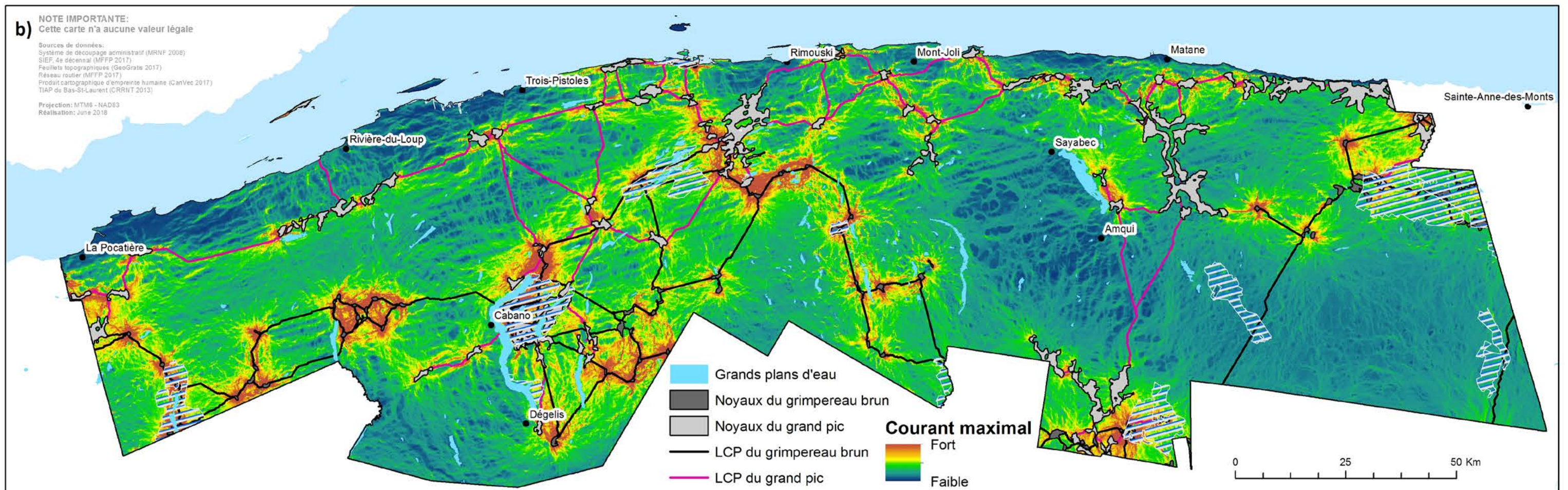
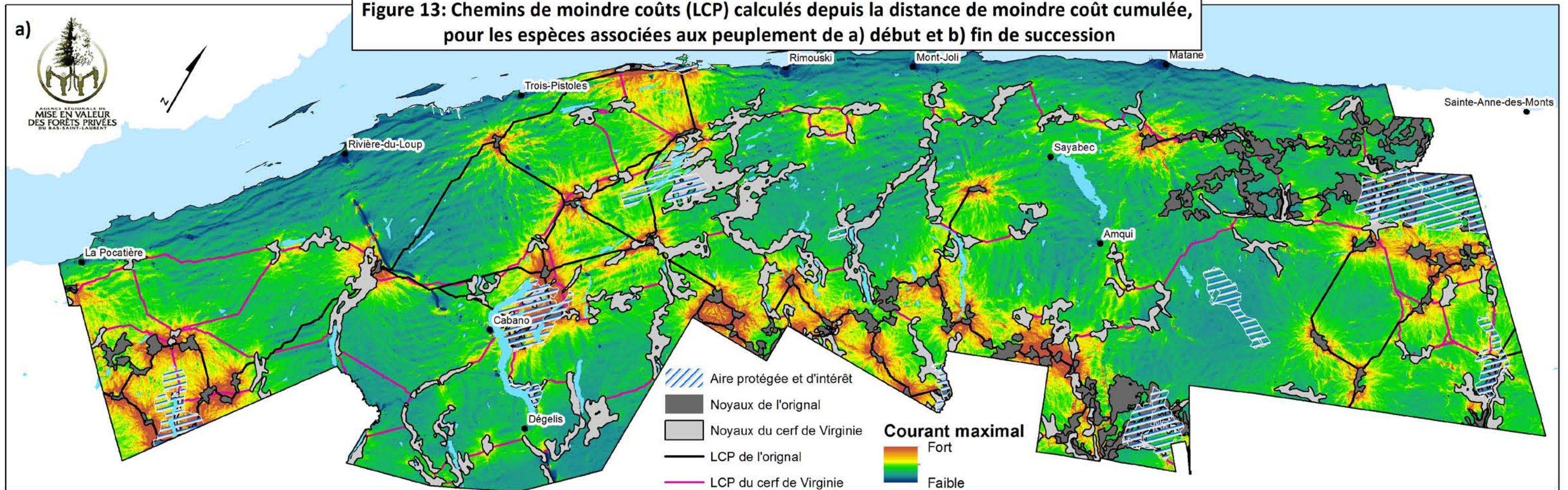


Figure 13: Chemins de moindre coûts (LCP) calculés depuis la distance de moindre coût cumulée, pour les espèces associées au peuplement de a) début et b) fin de succession



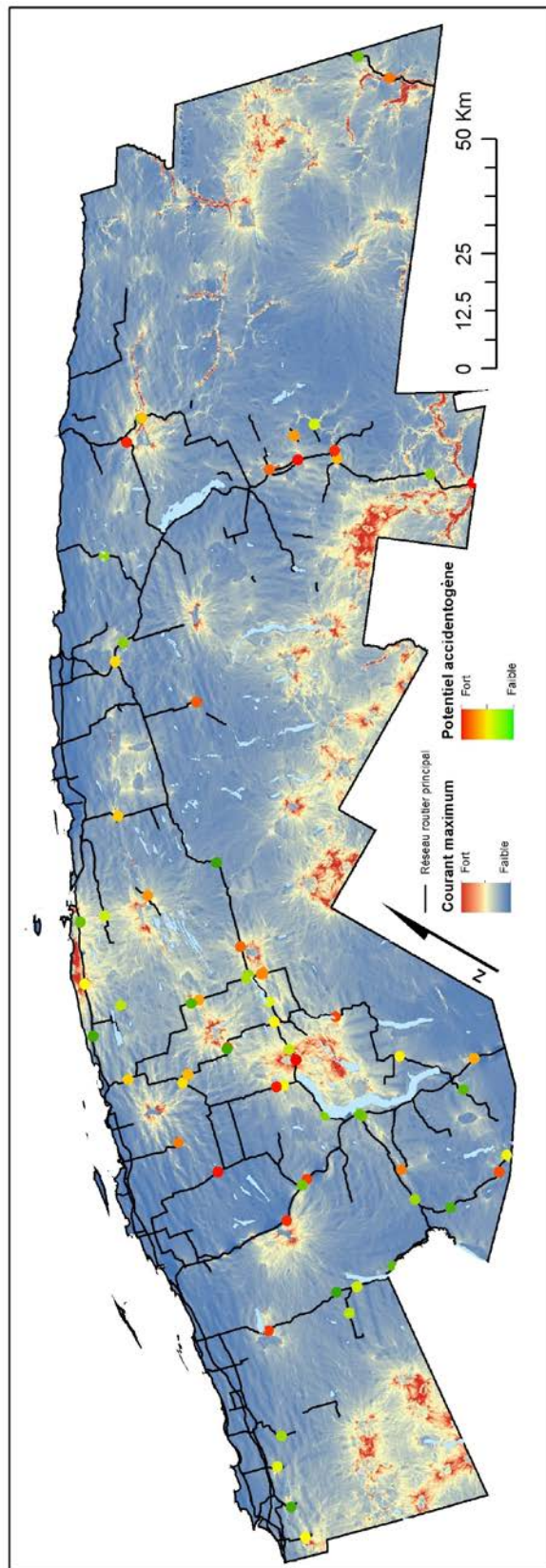


Figure 14. Potentiel accidentogène des intersections entre les chemins du moindre coût et le réseau routier pour les espèces associées aux peuplements de début de succession.



4 LES SUITES DU PROJET

Guidé par une approche de connectivité fonctionnelle, ce projet a permis d'apporter des connaissances territoriales précieuses en modélisant les axes de déplacement fauniques potentiels pour l'ensemble de l'aire d'étude. Les liens de connexion ont pu être gradés selon leur intensité relative à l'échelle régionale et les secteurs contribuant fortement à la connectivité sur le territoire privé ont été identifiés. Il est toutefois important de souligner que malgré la rigueur déployée lors de la réalisation de ces analyses, il serait hasardeux d'utiliser ces résultats d'analyse dans un cadre réglementaire sans qu'ils aient au préalable fait l'objet d'une validation plus poussée. Fondés entre autres sur des bonifications de modèles de qualité d'habitat publiés (grand-pic et grimpereau), ces résultats d'analyse demeurent théoriques.

Néanmoins, tous les résultats générés dans le cadre du projet donneront une base solide pour orienter la mise en œuvre d'actions à court et moyen terme qui peuvent s'inscrire dans les cinq axes suivants:

1. Validations géomatiques :

- Effectuer une deuxième validation des modèles de qualité de l'habitat du grimpereau brun et du grand pic à l'aide de données indépendantes récoltées par une méthode d'échantillonnage scientifiquement reconnue. Au besoin, modifier les IQH et refaire les analyses de connectivité avant de rediffuser les résultats.
- Comparer les résultats de qualité de l'habitat de l'original issus de RSF avec ceux de l'IQH du MFFP.
- Valider les résultats de corridors de déplacements et leur potentiel accidentogène à l'aide des données du MTMDET et de la Sûreté du Québec sur les collisions routières.

2. Analyses de raffinement :

- Préciser les liens de connectivité à plus petite échelle pour des secteurs jugés prioritaires et pour lesquels les résultats d'analyse réalisés à l'échelle régionale affichent des valeurs faibles.

3. Validation terrain des secteurs de haute connectivité

- Établir et mettre en œuvre une méthodologie de validation terrain de l'utilisation des connexions pour le déplacement réel de la faune.
- Évaluer le potentiel des corridors de déplacement identifiés à faciliter la connectivité pour d'autres espèces.



4. Identifier les secteurs de bris de connectivité à partir des résultats d'analyse et les prioriser.
5. Publier un nouveau rapport avec les mises à jour issues des processus de validation
6. Établir et mettre en œuvre une stratégie de conservation des corridors de connectivité avec les partenaires régionaux.
 - Documenter les meilleures pratiques d'aménagement forestier dans les corridors de connectivité et développer des outils de sensibilisation destinés aux propriétaires de lots boisés, des intervenants du milieu forestier et du milieu municipal.
 - Tenir des activités de transfert de connaissances portant sur la connectivité qui sont adaptées aux clientèles cibles : intervenants forestiers, propriétaires de lots boisés, milieu municipal.
 - Réaliser des projets de conservation volontaire en territoire privé pour des secteurs importants pour la connectivité.
7. Collaborer, avec les instances municipales, à la prise en compte des notions de connectivité dans les outils de planification et de développement de leur territoire et arrimer ces derniers avec le plan de protection et de mise en valeur des forêts privées.



5 CONCLUSION

Ce projet est un exercice important qui a mobilisé de nombreux intervenants et experts autour des enjeux liés à la conservation de la biodiversité et de la connectivité des milieux naturels. Cette implication a conduit à la production de connaissances territoriales crédibles pour orienter le déploiement des efforts de validation et de conservation sur le territoire privé dans une optique de complémentarité aux démarches entourant la proposition et la création d'aires protégées sur les terres du domaine de l'état.

Les résultats de cette étude ont permis d'identifier les secteurs théoriques présentant le plus fort potentiel relatif pour le maintien de la connectivité à l'échelle régionale. Bien que ces connaissances territoriales ne représentent pas nécessairement l'utilisation réelle du territoire faite par les espèces étudiées, la région dispose désormais d'informations tangibles pour déployer les efforts de validations et amorcer la mise en œuvre de la stratégie régionale (Morin et Balthazar 2015). Ultiment, cela se traduira par la prise en compte des liens de connectivité validés dans la planification et la gestion du territoire à différentes échelles. Dépendante de la volonté régionale, la mise en œuvre d'actions découlant de cette stratégie permettra aux gestionnaires et aux propriétaires concernés, d'orienter les efforts de protection des liens de connexions au bénéfice des espèces qui les utilisent.



6 RÉFÉRENCES

- Adriaensen, F., J.P. Chardon, G. De Blust, E. Swinnen, S. Villalba, H. Gulinck et E. Matthysen, 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64(4): 233-247.
- Albert, C.H., B. Rayfield, M. Dumitru et A. Gonzalez, 2017. Applying network theory to prioritize multispecies habitat networks that are robust to climate and land-use change. *Conservation Biology*, 31(6): 1383-1396.
- Angers, V.-A., 2009. L'enjeu écologique du bois mort – Complément au Guide pour la description des principaux enjeux écologiques dans les plans régionaux de développement intégré des ressources et du territoire, Québec, pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, 45 p.
- Averbeck, P., 2015. Analyse du potentiel et des impacts environnementaux de l'implantation d'éoliennes en forêt. Le cas de la Wallonie (Belgique). Université Libre de Bruxelles, 111 p.
- Bartlett, L.J., T. Newbold, D.W. Purves, D.P. Tittensor et M.B. Harfoot, 2016. Synergistic impacts of habitat loss and fragmentation on model ecosystems. Actes du colloque: Proc. R. Soc. B, The Royal Society, pages 20161027.
- Beasley, C.J., 2013. Avian Communities in Suspended Development: Disentangling Mechanistic Effects of Changing Habitat Structure Versus Human Habitation. University of Georgia.
- Bélisle, M. et A. Desrochers, 2002. Gap-crossing decisions by forest birds: an empirical basis for parameterizing spatially-explicit, individual-based models. *Landscape Ecology*, 17(3): 219-231.
- Belote, R.T., M.S. Dietz, B.H. McRae, D.M. Theobald, M.L. McClure, G.H. Irwin, P.S. McKinley, J.A. Gage et G.H. Aplet, 2016. Identifying corridors among large protected areas in the United States. *PLoS one*, 11(4): e0154223.
- Blanchette, P. et P. LaRue, 1993. Développement d'un indice de qualité de l'habitat pour la paruline couronnée (*Seiurus aurocapillus* L.) au Québec. Ministère du loisir, de la chasse et de la pêche, Direction générale de la ressource faunique, Gestion intégrée des ressources, document technique 93/2, 20 p.
- Bonar, R.L., 2001. Pileated Woodpecker habitat ecology in the Alberta foothills. Doctoral dissertation, University of Alberta, Edmonton, Canada.
- Boucher, Y., D. Arseneault et L. Sirois, 2006. Logging-induced change (1930-2002) of a preindustrial landscape at the northern range limit of northern hardwoods, eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(2): 505-517.



- Cederlund, G., xf, ran, F. Sandegren et K. Larsson, 1987. Summer Movements of Female Moose and Dispersal of Their Offspring. *The Journal of Wildlife Management*, 51(2): 342-352.
- Collinge, S. K., 1998. Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological field experiments. *Landscape and Urban Planning*, 42(2-4), 157-168.
- Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire du Bas-Saint-Laurent (CRRNTBSL), 2013a. Consultation publique sur la proposition de territoires d'intérêt pour la création d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent. Conférence régionale des éluEs du Bas-Saint-Laurent, Rimouski, 32 p.
- Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire du Bas-Saint-Laurent (CRRNTBSL), 2013b. Proposition de territoires d'intérêt pour la création d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent. Bilan de la consultation publique, 36 p.
- Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec (CRECQ), 2014. Principe d'élaboration des corridors naturels au Centre-du-Québec. 99 p. [En ligne] http://www.crecq.qc.ca/upload/contenu-fichiers/Biodiversite/corridor/Principe_de_connectivite.pdf
- Cormier, C., S. Côté, M. Mercure, A. Cerruti et F. Minelli, 2012. Cadre méthodologique pour restaurer la connectivité écologique, de la planification à la conservation : étude de cas en Montérégie. *Le Naturaliste canadien*, 136(2): 95-100.
- Darveau, M. et A. Desrochers, 2001. Le bois mort et la faune vertébrée - État des connaissances au Québec. Ministère des ressources naturelles, Direction de l'environnement forestier (DEF-0199), Québec, 37 p.
- Desrochers, A. et S.J. Hannon, 1997. Gap Crossing Decisions by Forest Songbirds during the Post-Fledging Period. *Conservation Biology*, 11(5): 1204-1210.
- Dickson, B.G., G.W. Roemer, B.H. McRae et J.M. Rundall, 2014. Correction: Models of Regional Habitat Quality and Connectivity for Pumas (*Puma concolor*) in the Southwestern United States. *PLOS ONE*, 9(1): 10.1371/annotation/3e4cab4a-23b1-4912-b943-9119cb2401aa.
- Dussault, C., R. Courtois, J.-P. Ouellet et I. Girard, 2005a. Space use of moose in relation to food availability. *Canadian Journal of Zoology*, 83(11): 1431-1437.
- Dussault, C., J.P. Ouellet, R. Courtois, J. Huot, L. Breton et H. Jolicoeur, 2005b. Linking moose habitat selection to limiting factors. *Ecography*, 28(5): 619-628.
- Dussault, C., C. Laurian et J.-P. Ouellet, 2012. Réactions comportementales de l'orignal à la présence d'un réseau routier dans un milieu forestier. *Le Naturaliste canadien*, 136(2): 48-53.
- ÉcoRessources, 2014. L'industrie faunique comme moteur économique régional : une étude ventilant par espèce et par région les retombés économiques engendrées par les chasseurs, les pêcheurs et les piégeurs québécois en 2012. *ÉcoRessources*, 71 p.



- Edwards, R.Y. et R.W. Ritcey, 1956. The migrations of a moose herd. *Journal of mammalogy*, 37(4): 486-494.
- Environnement Canada, 2013. Quand l'habitat est-il suffisant? Troisième édition. Environnement Canada, Toronto (Ontario), 138 p. [En ligne] http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/ec/CW66-164-2013-fra.pdf
- ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.
- Foltête, J.-C., C. Clauzel, X. Girardet, P. Tournant et G. Vuidel, 2012. Modélisation des réseaux écologiques par les graphes paysagers. *Revue internationale de géomatique*, 22(4): 641-658.
- Gasse, A., 2007. Importance des arbres de grande taille en forêt boréale mixte sur la distribution des oiseaux cavicoles ainsi que sur les patrons d'alimentation du Grand pic (*Dryocopus pileatus*). Université du Québec à Montréal, 102 p.
- Guénette, J.-S. et M.-A. Villard, 2005. Thresholds in Forest Bird Response to Habitat Alteration as Quantitative Targets for Conservation. *Conservation Biology*, 19(4): 1168-1180.
- Hansen, L.D. et R.D. Akre, 1985. Biology of carpenter ants in Washington State (*Hymenoptera: Formicidae: Camponotus*). *Melandria*, 43: 1-62.
- Hargrove, W.W., F.M. Hoffman et R.A. Efroymsen, 2005. A practical map-analysis tool for detecting potential dispersal corridors. *Landscape Ecology*, 20(4): 361-373.
- Helldin, J.O., J. Jung, W. Neumann, M. Olsson, A. Skarin et F. Widemo, 2012. The impacts of wind power on terrestrial mammals. Swedish Environmental Protection Agency (Report 6510), Stockholm, Sweden, 52 p.
- Hoskinson, R.L. et L.D. Mech, 1976. White-Tailed Deer Migration and Its Role in Wolf Predation. *The Journal of Wildlife Management*, 40(3): 429-441.
- King, D.I., R.M. Degraaf, M.L. Smith et J.P. Buonaccorsi, 2006. Habitat selection and habitat-specific survival of fledgling ovenbirds (*Seiurus aurocapilla*). *Journal of Zoology*, 269(4): 414-421.
- Koen, E.L., C.J. Garroway, P.J. Wilson et J. Bowman, 2010. The Effect of Map Boundary on Estimates of Landscape Resistance to Animal Movement. *PLOS ONE*, 5(7): e11785.
- Koen, E.L., J. Bowman et A.A. Walpole, 2012. The effect of cost surface parameterization on landscape resistance estimates. *Molecular Ecology Resources*, 12(4): 686-696.
- Koen, E.L., J. Bowman, C. Sadowski, A.A. Walpole et A. Tatem, 2014. Landscape connectivity for wildlife: development and validation of multispecies linkage maps. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7): 626-633.



-
- Labonté, J., J.-P. Ouellet, R. Courtois et F. Bélisle, 1998. Moose Dispersal and Its Role in the Maintenance of Harvested Populations. *The Journal of Wildlife Management*, 62(1): 225-235.
- Lafleur, P.-É. et P. Blanchette, 1993. Développement d'un indice de qualité de l'habitat pour le grand pic (*Dryocopus pileatus* L) au Québec. Ministère du loisir, de la chasse et de la pêche, Direction générale de la ressource faunique, Gestion intégrée des ressources, document technique 93/3, 36 p.
- Laliberté, J. et M.-H., St-Laurent, travaux non-publiés.
- Lammertink, M., 2004. A Multiple-Site Comparison of Woodpecker Communities in Bornean Lowland and Hill Forests. *Conservation Biology*, 18(3): 746-757.
- Lamoureux, J., M. Bélanger et C. Larocque, 2012. Inventaire aérien de l'original dans les Réserves fauniques de Matane et de Dunière, à l'hiver 2012. Rimouski, Québec, 40 p.
- Lavoie, L., F. Brassard, J. Lamoureux, P. Morin et J. Roy, 2012. Identification de territoires d'intérêt pour la création d'aires protégées au Bas-Saint-Laurent. Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire Bas-Saint-Laurent, 70 p.
- Lemaître, J. et M.-A. Villard, 2005. Foraging patterns of pileated woodpeckers in a managed Acadian forest: a resource selection function. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(10): 2387-2393.
- Lemaître, J., 2009. Déterminants de la répartition des oiseaux et des micromammifères en forêt boréale naturelle et aménagée. Université Laval, 135 p.
- Lesage, L., M. Crete, J. Huot, A. Dumont et J.P. Ouellet, 2000. Seasonal home range size and philopatry in two northern white-tailed deer populations. *Canadian Journal of Zoology*, 78(11): 1930-1940.
- Manly, B.F.J., L. McDonald, D. Thomas, T. McDonald et W. Erickson, 2002. Resource selection by animals : statistical design and analysis for field studies. *Statistical design and analysis for field studies*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 221 p.
- McRae, B.H., B.G. Dickson, T.H. Keitt et V.B. Shah, 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10): 2712-2724.
- McRae, B.H., V.B. Shah et T.K. Mohapatra, 2013. Circuitscape 4 user guide. The nature conservancy. [En ligne] <http://www.circuitscape.org>
- Meffe, G.K. et C.R. Carroll, 1997. *Principles of conservation biology*. Sinauer, Sunderland, Mass., 729 p.
- Mellen, T.K., E.C. Meslow et R.W. Mannan, 1992. Summertime Home Range and Habitat Use of Pileated Woodpeckers in Western Oregon. *The Journal of Wildlife Management*, 56(1): 96-103.
- Mikusiński, G., M. Gromadzki et P. Chylarecki, 2001. Woodpeckers as Indicators of Forest Bird Diversity. *Conservation Biology*, 15(1): 208-217.



- Ministère des forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), 2016. Accidents routiers impliquant l'orignal: à la recherche de solutions. [en ligne] <http://mffp.gouv.qc.ca/faune/habitats-fauniques/etudes-recherches/accidents-routiers.jsp> (page consultée le 18 janvier 2018)
- Montgomery, G.G., 1963. Nocturnal Movements and Activity Rhythms of White-Tailed Deer. *The Journal of Wildlife Management*, 27(3): 422-427.
- Morin, P. et L. Balthazar, 2015. Stratégie de conservation 2015-2020 pour la forêt privée du Bas-Saint-Laurent : une approche volontaire. Conseil régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent (CREBSL), Rimouski, 10 p. [En ligne] http://www.crebsl.com/documents/pdf/biodiversite/strategie-conservation_2015-2020-foret-privee-bsl.pdf
- Mosseler, A., J. Lynds et J. Major, 2003. Old-growth forests of the Acadian Forest Region. *Environmental Reviews*, 11(S1): S47-S77.
- Nature Counts, 2018. Télécharger des données, page consultée le 3 avril 2018. [En ligne] <https://www.birdscanada.org/birdmon/default/searchquery.jsp?switchlang=FR>
- Nelson, M.E., L.D. Mech et P.F. Frame, 2004. Tracking of White-Tailed Deer Migration by Global Positioning System. *Journal of Mammalogy*, 85(3): 505-510.
- Nilsson, S.G., J. Hedin et M. Niklasson, 2001. Biodiversity and its Assessment in Boreal and Nemoral Forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16(sup003): 10-26.
- Nordén, E., 2016. Comparison between three landscape analysis tools to aid conservation efforts. Student thesis series INES.
- Pelletier, D., M. Clark, M.G. Anderson, B. Rayfield, M.A. Wulder et J.A. Cardille, 2014. Applying Circuit Theory for Corridor Expansion and Management at Regional Scales: Tiling, Pinch Points, and Omnidirectional Connectivity. *PLoS One*, 9(1): e84135. [en ligne] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084135>
- Poulin, J.-F., M.-A. Villard, M. Edman, P.J. Goulet et A.-M. Eriksson, 2008. Thresholds in nesting habitat requirements of an old forest specialist, the Brown Creeper (*Certhia americana*), as conservation targets. *Biological Conservation*, 141(4): 1129-1137.
- Poulin, J.-F. et M.-A. Villard, 2011. Edge effect and matrix influence on the nest survival of an old forest specialist, the Brown Creeper (*Certhia americana*). *Landscape Ecology*, 26(7): 911-922.
- Poulin, J.-F., É. D'Astous, M.-A. Villard et S.J. Hejl, 2013. Brown creeper (*Certhia americana*), version 2.0. Dans: A.F. Poole (Éditeur), *The Birds of North America*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.



-
- R Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical, computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [En ligne] <http://www.R-project.org/>
- Risenhoover, K.L., 1986. Winter Activity Patterns of Moose in Interior Alaska. *The Journal of Wildlife Management*, 50(4): 727-734.
- Robert, G., S.M. Glenn, I. Parfitt et M.-J. Fortin, 2002. Landscape connectivity as a function of scale and organism vagility in a real forested landscape. *Conservation Ecology*, 6(2): 10.
- Robertson, O.J. et J.Q. Radford, 2009. Gap-crossing decisions of forest birds in a fragmented landscape. *Austral Ecology*, 34(4): 435-446.
- Robichaud, I., M.-A. Villard et C.S. Machtans, 2002. Effects of forest regeneration on songbird movements in a managed forest landscape of Alberta, Canada. *Landscape Ecology*, 17(3): 247-262.
- Rosenberry, C.S., R.A. Lancia et M.C. Conner, 1999. Population Effects of White-Tailed Deer Dispersal. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 27(3): 858-864.
- Sabine, D.L., S.F. Morrison, H.A. Whitlaw, W.B. Ballard, G.J. Forbes et J. Bowman, 2002. Migration Behavior of White-Tailed Deer under Varying Winter Climate Regimes in New Brunswick. *The Journal of Wildlife Management*, 66(3): 718-728.
- Sansregret, H. et P. Blanchette, 2003. Développement d'un indice de qualité de l'habitat pour le grimpeur brun à l'Île René Levasseur, Québec. *Le Naturaliste Canadien*, 127(1): 32-37.
- Savignac, C., A. Desrochers et J. Huot, 2000. Habitat use by Pileated Woodpeckers at two spatial scales in eastern Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 78(2): 219-225.
- St-Louis, V., J. Forester, D. Pelletier, M. Bélisle, A. Desrochers, B. Rayfield, M. Wulder et J. Cardille, 2014. Circuit theory emphasizes the importance of edge-crossing decisions in dispersal-scale movements of a forest passerine. *Landscape ecology*, 29(5): 831-841.
- Summers, P.D., G.M. Cunnington et L. Fahrig, 2011. Are the negative effects of roads on breeding birds caused by traffic noise? *Journal of Applied Ecology*, 48(6): 1527-1534.
- Transports Canada, 2013. Analyse statistique. [en ligne] <http://www.tc.gc.ca/fra/securiteautomobile/tp-tp14798-1289.htm> (page consultée le 19 janvier 2018)
- Trombulak, S.C., M.G. Anderson, R.F. Baldwin, K. Beazley, J.C. Ray, C. Reining, G. Woolmer, C. Bettigole, G. Forbes et L. Gratton, 2008. The Northern Appalachian/Acadian Ecoregion: Priority Locations for Conservation Action. Two Countries, One Forest Special Report No. 1, 58 p. [En ligne] http://www.2c1forest.org/en/resources/resources_docs/Special_Report_1.pdf
- Uliczka, H., P. Angelstam et J.M. Roberge, 2004. Indicator Species and Biodiversity Monitoring Systems for Non-Industrial Private Forest Owners: Is There a Communication Problem? *Ecological Bulletins*(51): 379-384.



- Villard, M.-A., G. Merriam et B.A. Maurer, 1995. Dynamics in Subdivided Populations of Neotropical Migratory Birds in a Fragmented Temperate Forest. *Ecology*, 76(1): 27-40.
- Villard, M.-A., M. Mazerolle et S. Haché, 2012. L'impact des routes, au-delà des collisions : le cas des oiseaux forestiers et des amphibiens. *Le Naturaliste canadien*, 136(2): 61-65.
- Wade, A.A., K.S. McKelvey et M.K. Schwartz, 2015. Resistance-surface-based wildlife conservation connectivity modeling: Summary of efforts in the United States and guide for practitioners. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 93 p. [En ligne] http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr333.pdf
- Washington Wildlife Habitat Connectivity Working Group (WHCWG), 2010. Washington Connected Landscapes Project: Statewide Analysis. Washington Departments of Fish and Wildlife, and Transportation, Olympia, WA, 209 p. [En ligne] <http://www.waconnected.org/>
- White, K.S., N.L. Barten, S. Crouse et J. Crouse, 2014. Benefits of migration in relation to nutritional condition and predation risk in a partially migratory moose population. *Ecology*, 95(1): 225-237.



ANNEXES



ANNEXE 1. Liste des espèces représentant les forêts matures basée sur une revue de littérature, l'opinion d'experts et l'atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional.

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Autour des palombes | Paruline à poitrine baie |
| Bec-croisé bifascié | Paruline à tête cendrée |
| Bec-croisé des sapins | Paruline bleue |
| Bruant fauve | Paruline couronnée |
| Buse à épaulettes | Paruline rayée |
| Chouette Lapone | Paruline tigrée |
| Chouette rayée | Paruline à gorge noire |
| Durbec des sapins | Petit duc maculé |
| Grand pic | Petite nyctale |
| Grimpereau brun | Pic à dos noir |
| Grive à dos olive | Pic à dos rayé |
| Grive de Bicknell | Pic chevelu |
| Grive solitaire | Pic maculé |
| Gros-bec errant | Roitelet à couronne dorée |
| Harle couronné | Roselin pourpré |
| Mésange à tête brune | Sitelle à poitrine rousse |
| Mésange bicolore | Piranga écarlate |
| Mésangeai du Canada | Tétras du Canada |
| Nyctale de Tengmalm | Troglodyte des forêts |
| Paruline à collier | Tyran huppé |
| Paruline à croupion jaune | Viréo à tête bleue |
| Paruline à gorge orangée | Viréo aux yeux rouges |
| Paruline à joues grises | |

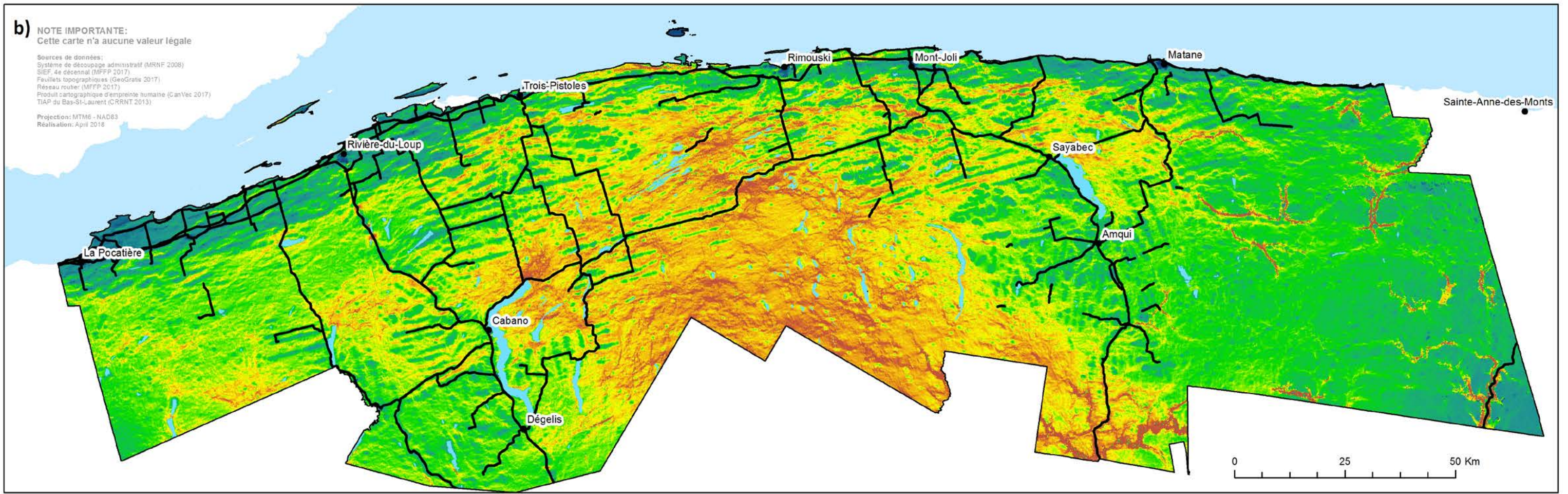
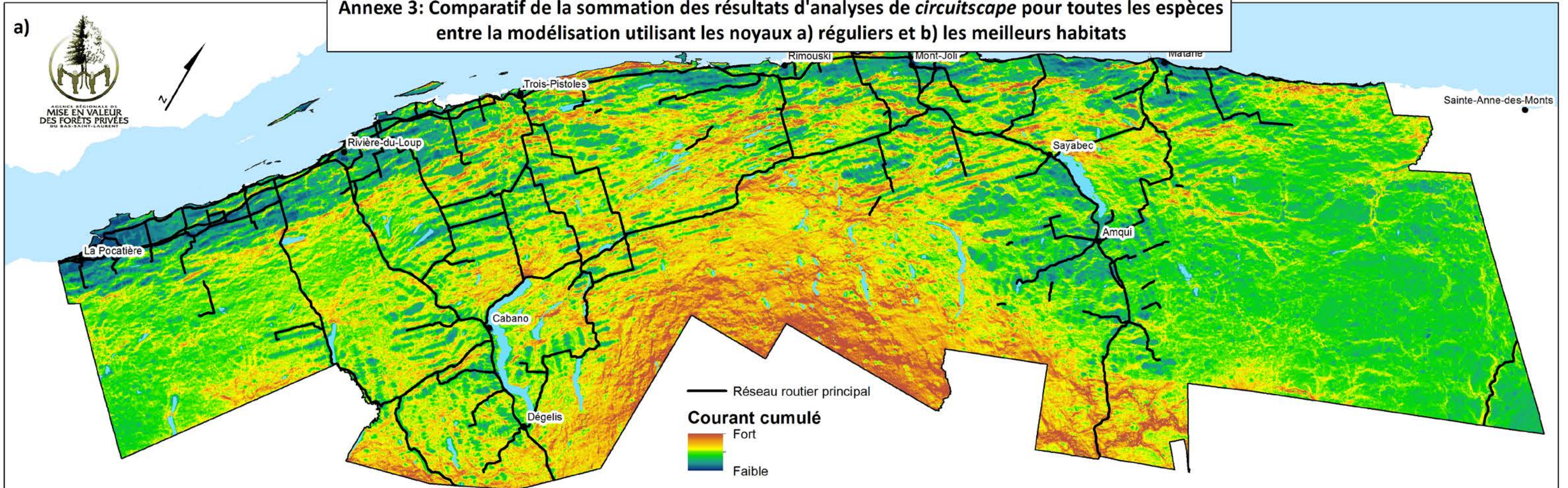


ANNEXE 2. Classification des peuplements forestiers par stade de développement

| Groupe d'aménagement | Stade de développement | Groupe d'essences | Classe d'âge | Hauteur |
|--|------------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Indéterminé | Aucun | Vide | Vide | Vide |
| FI-MFI Feuillus et mélangés à dominance de feuillus intolérants (BP, PE, PH, FI, FX, FN) | Régénération | Tous | Vide - 10 | Toutes |
| | Jeune | Tous Tous | 30 JIN-JIR | Toutes 3-4-5 |
| | Mûr | Tous Tous | JIN-JIR 50-70 | 1-2 Toutes |
| | Suranné | Tous | 90-120-VIN-VIR | Toutes |
| FT-MFT Feuillus et mélangés à dominance de feuillus tolérants (ES, BJ, CR, FA, FP, EO, ER, FT) | Régénération | Tous | vide- 10 | Toutes |
| | Jeune | Tous Tous | 30 50-JIN-JIR | Toutes 3-4-5 |
| | Mûr | Tous Tous | 50-JIN-JIR 70-90 | 1-2 Toutes |
| | Suranné | Tous | 120-VIN-VIR | Toutes |
| SE-RMR Sapin, épinettes, pin gris mélangés à dominance de résineux ou résineux (E*, PG, RX, RZ, SB) | Régénération | Tous | vide- 10 | Toutes |
| | Jeune | Tous Tous | 30 JIN-JIR | Toutes 3-4-5 |
| | | EPN-PIG | 50 | 3-4-5 |
| | Mûr | EPN-PIG | 50 | 1-2 |
| | | Tous | JIN-JIR | 1-2 |
| | | SAB-EPB | 50 | Toutes |
| Tous | | 70 | Toutes | |
| Suranné | EPN-PIG | 90 | Toutes | |
| | SAB-EPB Tous | 90 120-VIN-VIR | Toutes Toutes | |
| AUR-RMR Autres pins ou thuya, mélangés à dominance de résineux ou résineux (M*, PB, PR, PS, TO) | Régénération | Tous | vide- 10 | Toutes |
| | Jeune | Tous | 30 | Toutes |
| | | PI-ML | 50 | 3-4-5 |
| | | RTHO-THOR | 50 | Toutes |
| | | Tous | JIN-JIR | 3-4-5 |
| | Mûr | PI-ML | 50 | 1-2 |
| | | Tous | JIN-JIR | 1-2 |
| | | Tous | 70 | Toutes |
| Tous | | 90 | Toutes | |
| Suranné | Tous | 120-VIN-VIR | Toutes | |

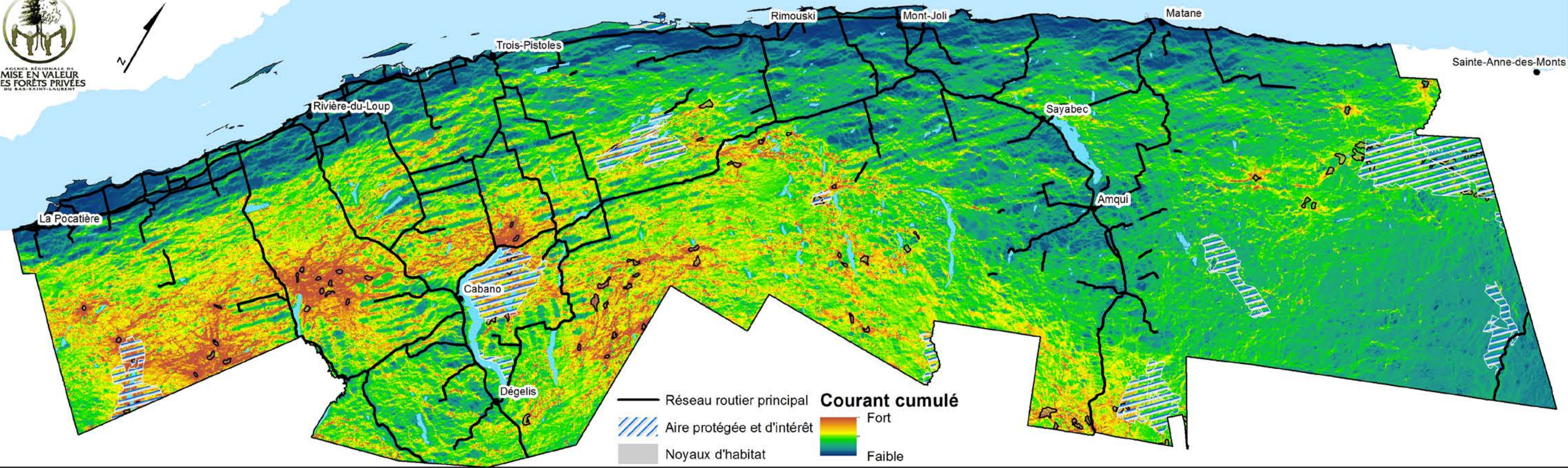


Annexe 3: Comparatif de la sommation des résultats d'analyses de *circuitscape* pour toutes les espèces entre la modélisation utilisant les noyaux a) réguliers et b) les meilleurs habitats



Annexe 4: Résultats d'analyses de *Circuitscape* pour le grimpereau brun

a)

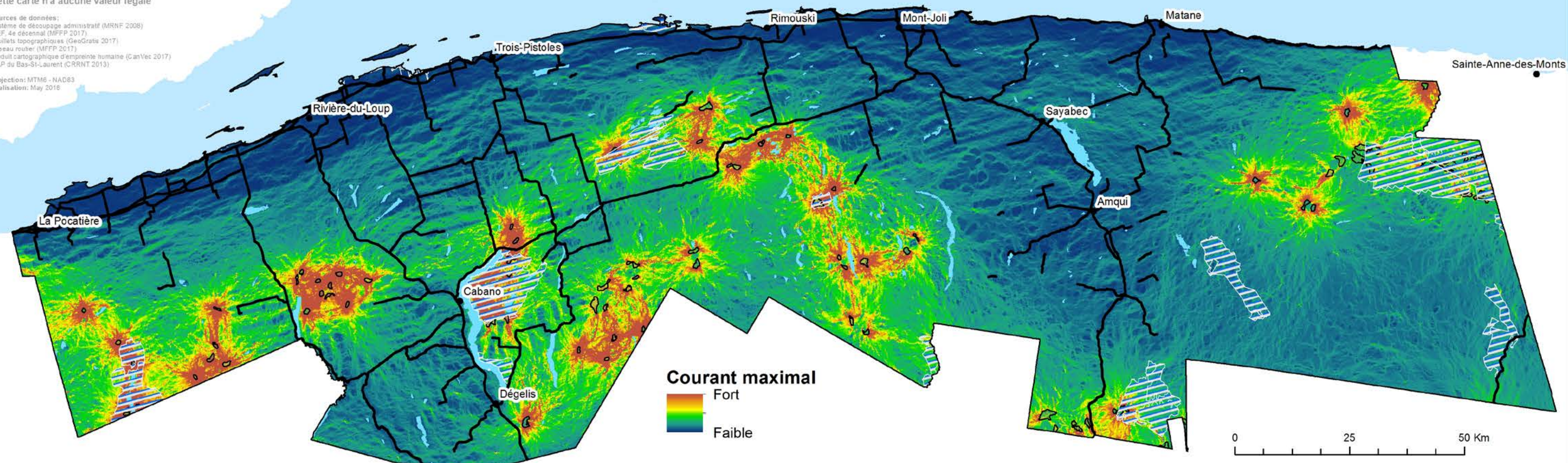


b)

NOTE IMPORTANTE:
Cette carte n'a aucune valeur légale

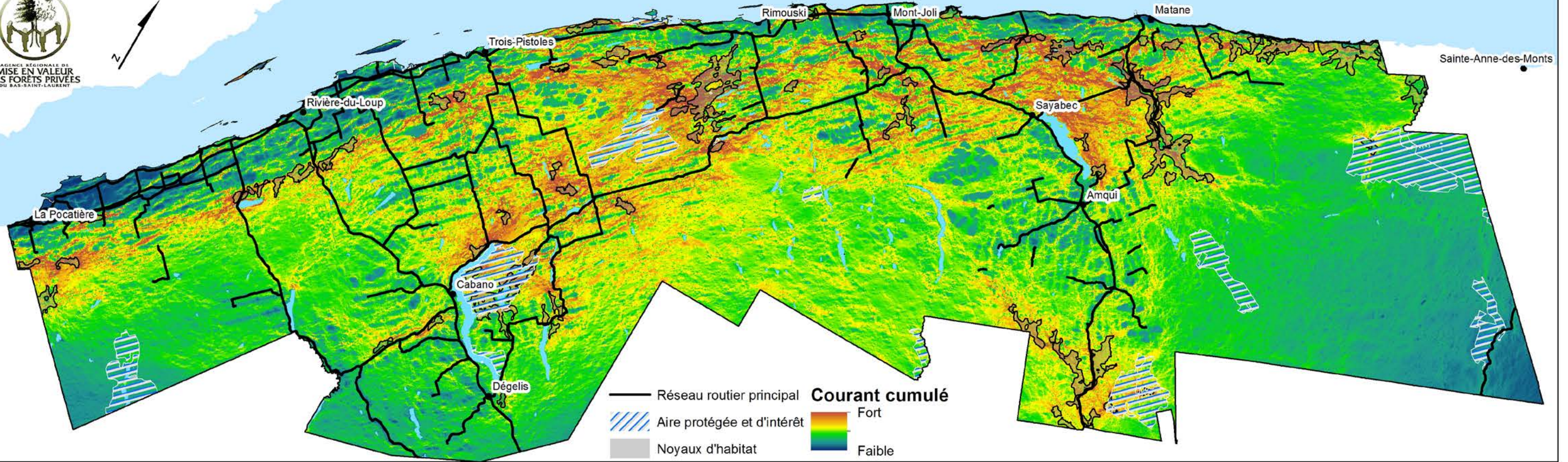
Sources de données:
Système de découpage administratif (MRNF 2008)
SIEF, 4e décennal (MFFP 2017)
Feuilles topographiques (GeoGratis 2017)
Réseau routier (MFFP 2017)
Produit cartographique d'empreinte humaine (CanVec 2017)
TIAP du Bas-Saint-Laurent (CRRNT 2013)

Projection: MTM6 - NAD83
Réalisation: May 2018



Annexe 5: Résultats d'analyses de *Circuitscape* pour le grand pic

a)

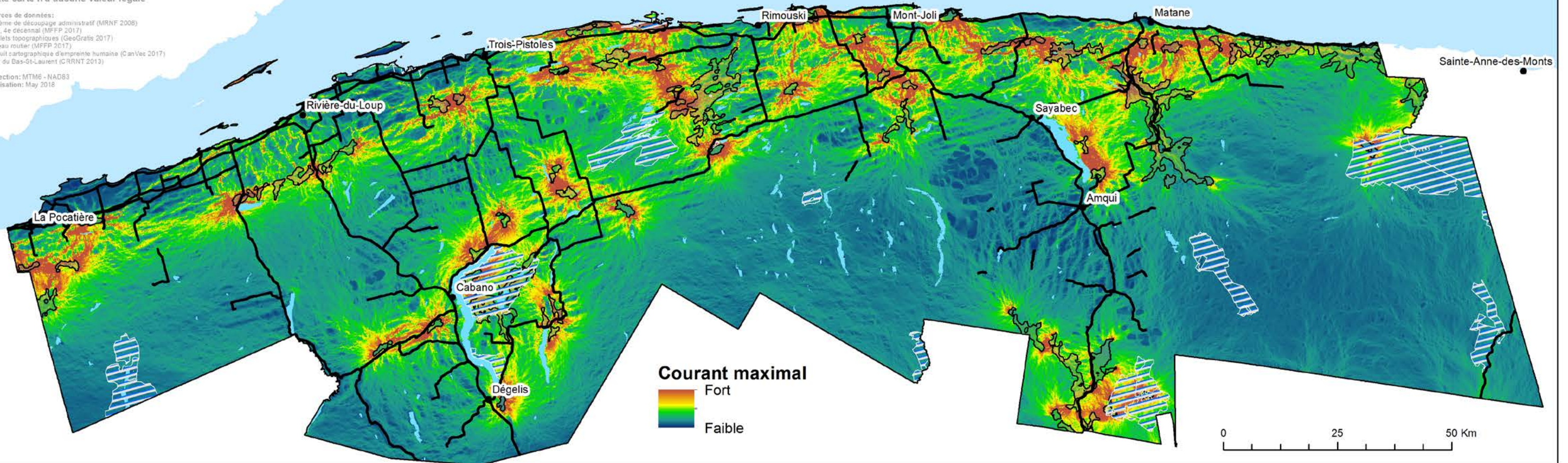


b)

NOTE IMPORTANTE:
Cette carte n'a aucune valeur légale

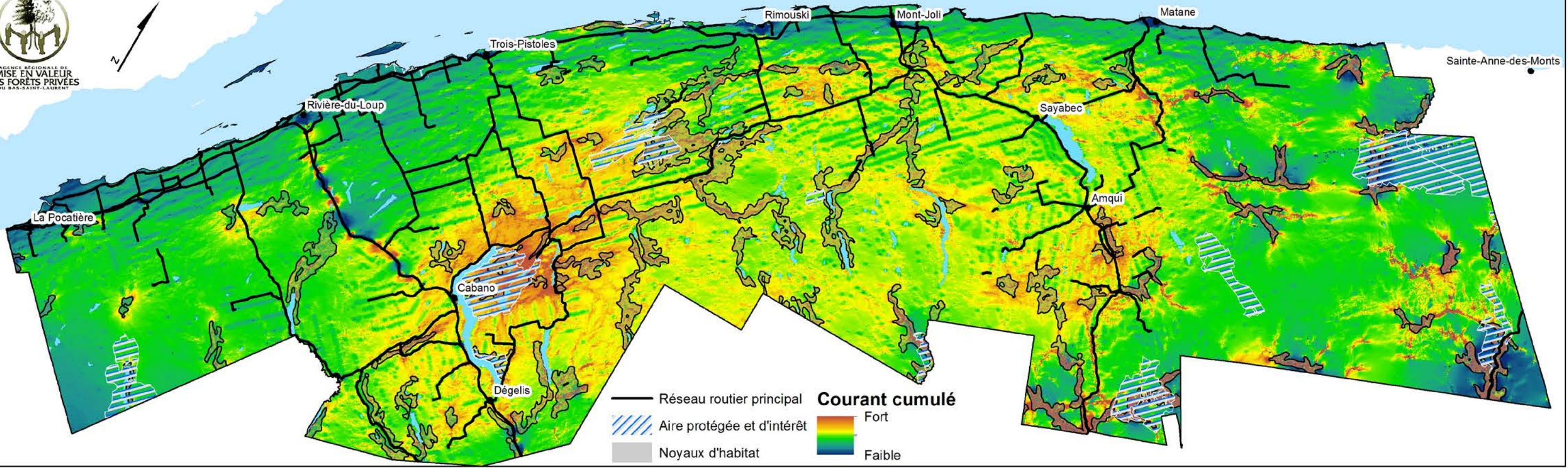
Sources de données:
Système de découpage administratif (MRNF 2008)
SIEF, 4e décennal (MFPP 2017)
Feuilles topographiques (GeoGratis 2017)
Réseau routier (MFPP 2017)
Produit cartographique d'empreinte humaine (CanVec 2017)
TIAP du Bas-Saint-Laurent (CRRNT 2013)

Projection: MTM6 - NAD83
Réalisation: May 2018



Annexe 6: Résultats d'analyses de *Circuitscape* pour le cerf de Virginie

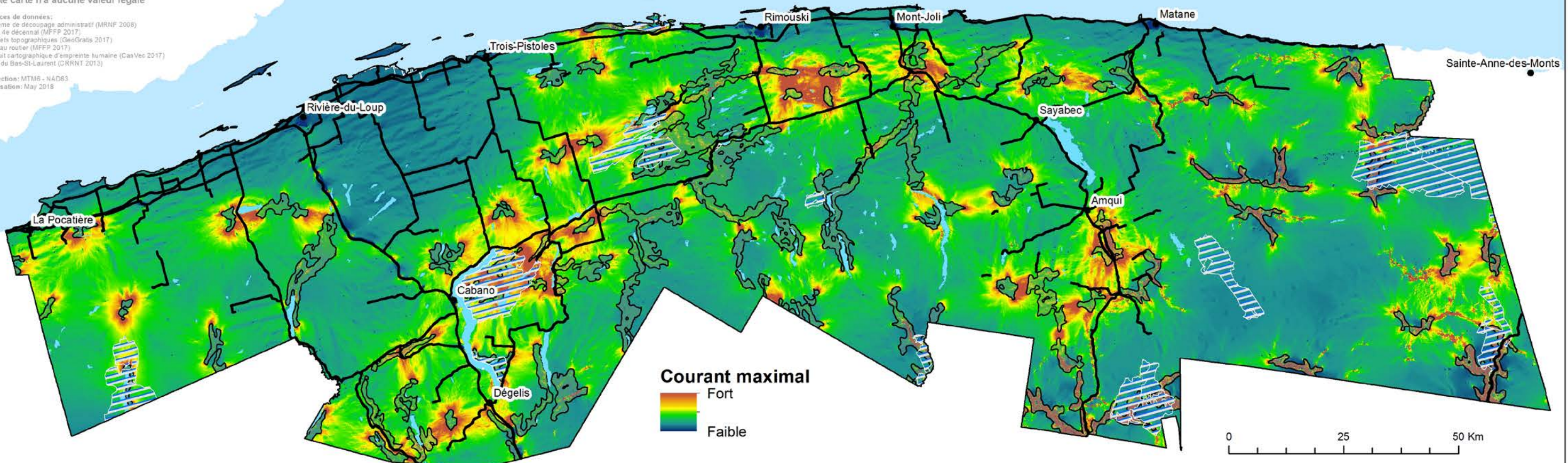
a)



b)

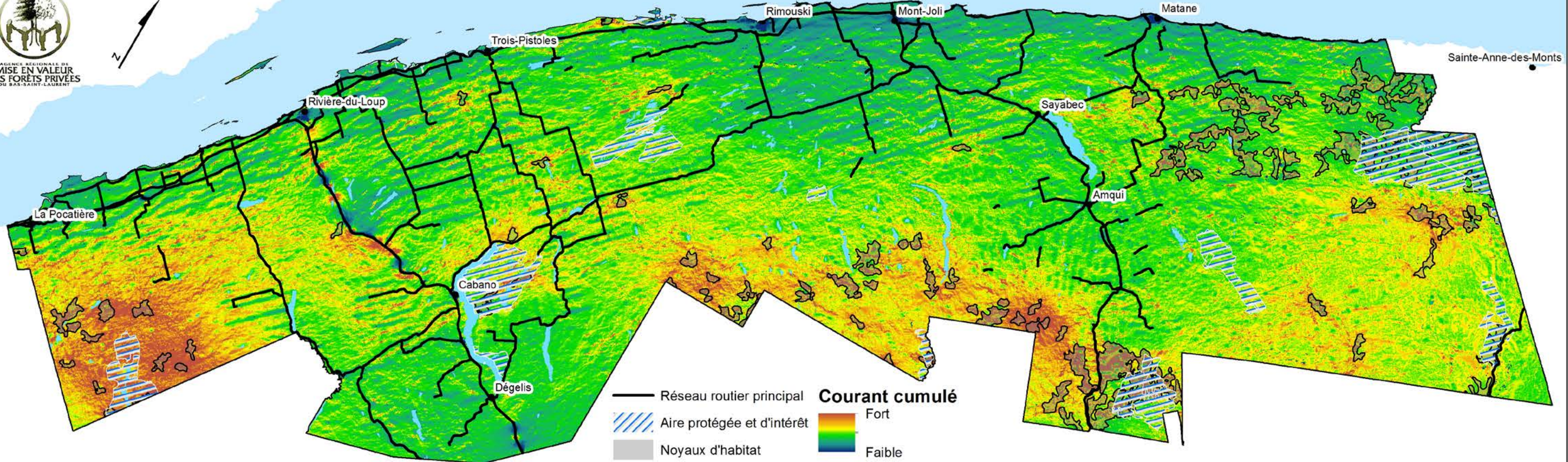
NOTE IMPORTANTE:
Cette carte n'a aucune valeur légale

Sources de données:
Système de découpage administratif (MRNF 2008)
SIEF, 4e décenat (MFFP 2017)
Faisceaux topographiques (GeoGratis 2017)
Réseau routier (MFFP 2017)
Produit cartographique d'empreinte humaine (CanVec 2017)
TIAP du Bas-St-Laurent (CRRNT 2013)
Projection: MTM6 - NAD83
Réalisation: May 2018



Annexe 7: Résultats d'analyses de Circuitscape pour l'original

a)



b)

NOTE IMPORTANTE:
Cette carte n'a aucune valeur légale

Sources de données:
 Système de découpage administratif (MRNF 2008)
 SIEF, 4e décennal (MFFP 2017)
 Feuilles topographiques (GeoGratis 2017)
 Réseau routier (MFFP 2017)
 Profil cartographique d'empreinte humaine (CaoVec 2017)
 TIAP du Bas-St-Laurent (CRRNT 2013)

Projection: MTM6 - NAD83
 Réalisation: May 2018

