

ÉLABORATION D'UNE MÉTHODOLOGIE PERMETTANT D'OBTENIR UN OUTIL
CARTOGRAPHIQUE D'AIDE À LA MISE EN PLACE STRATÉGIQUE DE PASSAGES
FAUNIQUES À L'ÉCHELLE D'UNE RÉGION ADMINISTRATIVE

Par
Stéphanie Larocque-Desroches

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Pierre-Michel Vallée

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Janvier 2019

SOMMAIRE

Mots clés : écologie routière, passages fauniques, aménagements fauniques, densité de collisions, mortalité faunique, habitats fauniques, corridors écologiques, connectivité, ministère des Transports

La mise en place de passages fauniques sur le réseau routier au Québec comporte de nombreux défis. Le choix de l'emplacement de ces aménagements en fait partie. Devant tenir compte de nombreux enjeux et étant limités par la mission de base du ministère des Transports, les experts œuvrant en environnement au sein de ce ministère sont à la recherche de solutions pour faciliter l'intégration de mesures de mitigation sur une base régulière.

L'objectif du présent essai est de mettre sur pied une méthodologie adaptée au ministère des Transports qui aurait comme finalité l'obtention d'un outil cartographique permettant de cibler des zones présentant un intérêt pour la mise en place de passages fauniques à l'échelle d'une région administrative. La direction générale de la Chaudière-Appalaches constituait l'étude de cas sur laquelle la méthodologie a été mise à l'épreuve. Ainsi, une revue de littérature couvrant les différentes méthodologies et types d'analyse de données d'information géomatique pouvant servir de près ou de loin à créer l'outil désiré a été réalisée et a fait ressortir plusieurs étapes clés à suivre et différents types d'analyse présentant un gradient de difficulté et offrant diverses possibilités de résultats. Des analyses simples ont été retenues pour la méthodologie sur la base des limites du ministère des Transports. L'étude de cas a permis d'appliquer l'analyse visuelle de couches et l'analyse de densité de collisions avec la grande faune. Ces dernières ont permis d'obtenir quatre cartes, dont une particulièrement pertinente portant sur les zones de collisions avec les grands mammifères.

Les résultats obtenus après l'application de la méthodologie ont permis de tirer une série de recommandations portant à la fois sur l'amélioration de cette dernière et sur les actions à entreprendre par les experts en environnement de la direction générale de la Chaudière-Appalaches, les unités centrales du ministère des Transports et plusieurs autres parties prenantes impliquées de près ou de loin dans le processus de mise en place de passages fauniques. Il est ressorti, entre autres, que l'un des deux types d'analyse retenus, soit l'analyse visuelle, n'était pas efficace à échelle d'une région administrative, mais que les autres options d'analyse sont très complexes à réaliser sans donnée empirique. Ce constat a d'ailleurs mené à d'autres recommandations, comme le fait que le ministère des Transports et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs devraient être davantage en mesure de récolter des données plus exhaustives de carcasses afin de pouvoir réaliser des analyses de collisions pour des taxons autres que les grands mammifères. Ces recommandations ont également mis en lumière l'importance de la collaboration entre les divers acteurs du milieu qui possèdent des connaissances en conservation et en écologie routière (organismes de conservation, universités) et qui pourraient grandement faciliter le travail des experts du ministère des Transports, mais dont les connaissances et outils ne sont pas mis en profil en raison d'un manque de communication.

REMERCIEMENTS

Le stage que j'ai effectué au ministère des Transports à l'automne 2017 aura été un point tournant pour la fin de mes études et le début de ma vie de jeune professionnelle. Il aura été la source de rencontres fantastiques, de la découverte d'une passion et surtout, l'élément déclencheur de la naissance du présent essai. Ces quelques lignes exposeront donc la grande reconnaissance que j'ai pour mes anciens collègues du Ministère, mais également pour des professionnels retraités ou venant d'autres milieux, qui ont également accepté, avec grande générosité, de m'aider tout au long de ma rédaction. Tous ont su contribuer, de près ou de loin, à faciliter ce cheminement particulier qu'a été l'élaboration de cet essai.

Tout d'abord, je tiens à remercier Pierre-Michel Vallée, qui, après avoir supervisé mon stage, a gentiment accepté de diriger cet essai. Il a été d'un support précieux du début à la fin du processus. Il a su, dans les moments les plus difficiles, se montrer toujours rassurant et m'encourager afin de me redonner l'énergie qui manquait parfois. Sa grande disponibilité, ses conseils toujours pertinents et les nombreuses idées et connaissances qu'il m'a transmis m'ont permis de surpasser les difficultés rencontrées et d'augmenter grandement la qualité de mon travail. Cela aura été un plaisir et un honneur d'être dirigée par Pierre-Michel.

Je tiens également à remercier Dominique Boursier-Lépine, également une ancienne collègue du ministère des Transports, qui a eu les mots justes à plusieurs reprises pour m'aider à cheminer au travers de cette double vie d'étudiante en rédaction et de jeune professionnelle que j'ai menée pendant ces huit mois. Je suis infiniment reconnaissante du bagage de connaissances et d'expériences qu'elle a partagé avec moi. Je tiens également à la remercier pour le temps qu'elle a consacré à venir partager ses idées lors de plusieurs réunions organisées avant et durant l'élaboration de l'essai.

Je remercie Jacques Fortin et Claudine Laquerre, d'anciens collègues du Ministère, qui ont été d'une aide précieuse et ont veillé à me fournir toutes les données dont j'avais besoin pour la réalisation des cartes. Je remercie également Jonathan Dubé-Marcoux, qui, comme Pierre-Michel et Dominique, a su me partager ses idées et connaissances lors des réunions organisées dans le contexte de l'élaboration de l'essai.

Je tiens à remercier également Jacques Bélanger, qui est maintenant retraité du ministère des Transports, et qui a généreusement accepté de me partager son précieux bagage de connaissances sur l'historique des projets d'aménagements fauniques au Ministère.

Finalement, je remercie tout particulièrement Jean-François Labelle, un excellent géomaticien que j'ai eu la chance de côtoyer dans mon nouveau milieu de travail. Il a été pour moi un mentor en géomatique et a su me transmettre avec une grande patience ses connaissances précieuses. Je dois le remercier particulièrement pour le temps qu'il a consacré, sur son temps personnel, à m'aider et me démêler pour les analyses des données géospatiales du présent essai.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. MISE EN CONTEXTE.....	4
1.1 Densification du réseau routier.....	4
1.2 Impacts des routes sur l’environnement.....	5
1.2.1 Mortalité faunique.....	5
1.2.2 Barrière au déplacement.....	6
1.2.3 Perte d’habitats.....	7
1.2.4 Dégradation de l’habitat.....	8
1.3 Facteurs à considérer dans l’évaluation des impacts des routes sur la faune.....	8
1.3.1 Nature de l’espèce.....	8
1.3.2 Densité des populations.....	9
1.3.3 Emplacement des routes.....	9
1.3.4 Contexte routier.....	10
1.4 Diminuer les impacts des routes sur les écosystèmes.....	11
1.4.1 L’écologie routière.....	11
1.4.2 Mesures de mitigation.....	12
1.5 L’intégration et l’application du concept d’écologie routière.....	13
1.5.1 Comparaison globale Europe et Canada.....	13
1.5.2 Portrait global de l’intégration au Québec.....	14
1.5.3 Portrait appliqué et exemples de projets.....	15
1.5.4 Technicités de mise en place provinciale.....	17
1.5.5 Le cas de la Direction générale de la Chaudière-Appalaches.....	19
2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS.....	20
3. THÉORIE SUR LE PROCESSUS DE POSITIONNEMENT DE PASSAGES FAUNIQUES.....	23
3.1 Méthodologies de localisation d’aménagements fauniques à échelle d’un tronçon routier.....	23

3.1.1 Habitats et corridors écologiques	24
3.1.2 Indicateurs spatiaux	25
3.1.3 Identification des zones accidentogènes.....	26
3.1.4 Modèle de connectivité	27
3.1.5 Modèle statistique de déplacement.....	27
3.1.6 Identification par opportunité	28
3.2 Méthodologies appliquées à l'échelle régionale.....	29
3.2.1 Noyaux de conservation et corridors écologiques traversés par des routes.....	29
3.2.2 Modèles de déplacement à échelle régionale	32
4. MÉTHODOLOGIE POUR L'OBTENTION DE L'OUTIL CARTOGRAPHIQUE	33
4.1 Priorisation des méthodes d'analyse pertinentes.....	33
4.1.1 Types d'analyse cartographique ou géospatiale à considérer.....	33
4.1.2 Priorisation des analyses pertinentes pour le MTQ.....	35
4.2 Processus méthodologique complet	38
5. ÉTUDE DE CAS : APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE	42
5.1 Portrait et enjeux du territoire à l'étude.....	42
5.1.1 Portrait environnemental : éléments physiques.....	42
5.1.2 Portrait environnemental : éléments biologiques	43
5.1.3 Portrait social : occupation et gestion du territoire.....	45
5.1.4 Infrastructures routières.....	46
5.1.5 Enjeux du territoire.....	46
5.2 Identification des enjeux de la DGCA et du MTQ.....	47
5.3 Identification des objectifs spécifiques	48
5.4 Analyse des données disponibles	49
5.5 Élaboration d'un plan d'analyse.....	50
5.6 Application du plan d'analyse et démarche géomatique détaillée	51

6. RÉSULTATS ET DISCUSSION	55
6.1 Analyse globale de la région	55
6.2 Analyse pour les grands mammifères.....	61
6.3 Zones à cibler pour des espèces aquatiques de milieux humides	67
6.4 Conclusions générales	71
7. RÉTROACTION SUR LA MÉTHODOLOGIE ET RECOMMANDATIONS	74
7.1 Retour sur le processus d'élaboration d'une méthodologie.....	74
7.2 Rétroaction sur la méthodologie développée	75
7.3 Recommandations pratiques : étude de cas	79
7.3.1 Recommandations techniques	80
7.3.2 Recommandations d'éléments à préciser	82
7.4 Recommandations globales pour le MTQ.....	83
7.5 Implantation optimale d'aménagements fauniques : un élément à considérer pour le futur	84
7.5.1 Démarche spécifique à la DGCA dans le contexte présent.....	84
7.5.2 Recommandations de changements majeurs	85
CONCLUSION	87
RÉFÉRENCES	90
BIBLIOGRAPHIE	96

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Comparaison graphique du comportement d'évitement et des collisions véhicules-faune induits par les routes.....	7
Figure 6.1	Portrait global de la Chaudière-Appalaches.....	56
Figure 6.2	Carte des collisions avec les grands mammifères.....	62
Figure 6.3	Carte des milieux humides de la Chaudière-Appalaches.....	68
Figure 6.4	Mise en commun des zones à prioriser pour la région de la Chaudière-Appalaches.....	73
Tableau 1.1	Volume de circulation et effets sur la faune.....	10
Tableau 4.1	Évaluation des méthodes en fonction des limites temporelles et informatiques.....	37
Tableau 6.1	Zones relevées par l'analyse générale de la région de la Chaudière-Appalaches.....	60
Tableau 6.2	Zones de priorité 1 pour l'aménagement de passages fauniques pour la grande faune.....	64
Tableau 6.3	Zones de priorité 2 pour l'aménagement de passages fauniques pour la grande faune.....	65
Tableau 6.4	Zones relevées par l'analyse des milieux humides de la Chaudière-Appalaches.....	70

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

CAAF	Contrat d’approvisionnement et d’aménagement forestier
CDPNQ	Centre des données sur le patrimoine naturel du Québec
CRE	Conseil régional de l’environnement
CRÉ	Conférence régionale des élus
CRECA	Conseil régional de l’environnement de la Chaudière-Appalaches
DGCA	Direction générale de la Chaudière-Appalaches (du ministère des Transports)
DGT	Direction générale territoriale (du ministère des Transports)
DSR	Diagnostic en sécurité routière
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
EFE	Écosystème forestier exceptionnel
IQH	Indice de qualité de l’habitat
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l’Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MERN	Ministère de l’Énergie et des Ressources naturelles
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MRC	Municipalité régionale de comté
MRNF	Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
MTMDET	Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l’Électrification des transports
MTQ	Ministère des Transports
PRDIRT	Plan régional de développement intégré des ressources naturelles et du territoire
RTS	Route-tronçon-section
SAAQ	Société de l’assurance automobile du Québec
SEPAQ	Société des établissements de plein air du Québec
SIEF	Système d’information écoforestière
ZEC	Zone d’exploitation contrôlée

LEXIQUE

Corridor écologique	Un corridor écologique (peut également s'appeler corridor forestier, corridor faunique ou corridor naturel) est un passage utilisé par la faune qui relie des espaces naturels (Leclair et Blais, 2015; ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], 2018c)
Données empiriques	Les données empiriques sont des données obtenues par observation ou expérimentation (Explorable, 2018)
Matrice de résistance et corridor de moindre coût	Le corridor par lequel l'animal circulera le plus facilement peut être trouvé à l'aide d'une analyse qui permet d'obtenir le corridor de moindre coût en utilisant des matrices de résistances au mouvement (chaque pixel possède une valeur en fonction de la facilité pour la faune à se déplacer dans ce type de milieu). (ArcGIS Pro, 2018; Gratton, 2014)
Ravage et aire de confinement	Un ravage est un habitat utilisé par le cerf de Virginie durant la période hivernale. Une aire de confinement est une forme précise de ravage protégée par le Règlement sur les habitats fauniques (RHF) (RHF, c. C-61.1, r. 18) (Hébert et al., 2013)

INTRODUCTION

La fragmentation des paysages à travers le monde est une des plus grandes menaces à la biodiversité. Que ce soit par le développement ou l'apparition de villes, de terres agricoles ou de routes, les grandes forêts servant d'habitats à d'innombrables espèces ont été de plus en plus divisées en petites parcelles, laissant derrière une biodiversité affectée par de multiples conséquences. (Primack, 2014) Le développement économique des dernières années et la croissance de la population dans de nombreux pays ont contribué à augmenter l'occupation du sol et par le fait même, le prolongement des routes menant vers des terres autrefois inoccupées, amplifiant sans cesse les impacts qui en découlent (Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports [MTMDET], 2016; Primack, 2014). Le développement du réseau routier figure, en effet, parmi les causes de la fragmentation s'étant le plus répandues depuis les derniers siècles (Trombulak et Frissell, 2000).

La présence des routes, en plus d'amener son lot de conséquences reliées à la fragmentation des écosystèmes (effet de barrière, entre autres), est responsable d'autres impacts négatifs sur la biodiversité qui lui sont propres (van der Ree, Jaeger, van der Grift et Clevenger, 2011). Le réseau routier est responsable, entre autres, d'un taux de mortalité considérable pour de nombreuses espèces qui entrent en collision avec les véhicules ainsi que de la perte et la dégradation d'habitats (Clevenger et Huijser, 2011; Jaeger et Fahrig, 2004; Primack, 2014). En prenant connaissance de ce phénomène, la communauté scientifique à travers le monde s'est fortement concentrée sur sa compréhension ainsi que sur les moyens d'en diminuer la croissance. C'est ainsi la rencontre de plusieurs disciplines qui ont mené à la naissance d'un nouveau concept, soit l'écologie routière, qui se définit comme étant la science qui étudie le lien entre le réseau routier et les écosystèmes qu'il traverse. (Forman, 1998) De là sont apparues, autant en Europe qu'en Amérique du Nord, des mesures de mitigation comme les passages fauniques. (Carsignol, 2012; Clevenger, 2012) Ainsi, dans l'optique d'assurer une connectivité entre les habitats, de diminuer le nombre d'accidents sur les routes et de diminuer la mortalité faunique, les passages fauniques font partie des solutions les plus étudiées et dont l'utilisation est en augmentation à travers le monde, et également au Québec (Jaeger et al., 2017).

Bien qu'elle soit établie à plusieurs endroits en Europe, la mise en place d'aménagements fauniques dans le but de réduire les conséquences des routes sur la faune n'est pas encore réalisée de façon intégrée dans plusieurs régions, comme le Québec. Un intérêt grandissant commence toutefois à se faire sentir pour la mise en place de mesures d'atténuation des conséquences du réseau routier dans la province, mais il demeure que l'instance responsable des routes au Québec, soit le ministère des Transports (MTQ), rencontre encore des défis à ce sujet. (Bédard et al., 2012c; Clevenger, 2012; Gratton, 2014) En effet, malgré le fait que certains organismes québécois commencent à publier des méthodologies visant à aider les instances

responsables à mettre en place des aménagements fauniques qui seront positionnés à des endroits stratégiques et qui seront pérennes, le contexte québécois fait en sorte que leur utilisation n'est pas nécessairement réalisable (Gratton, 2014). La vision utilisée lors de l'aménagement de passages fauniques est encore très limitée à l'environnement immédiat d'une infrastructure de transports et ne tient pas compte du contexte environnemental et socio-économique de la zone visée. De plus, comme le contexte fait en sorte que les possibilités d'actions sont généralement guidées par des limitations budgétaires, il peut être difficile de se concentrer sur une planification stratégique. Ainsi, il apparaît que l'un des principaux défis réside dans la sélection stratégique des emplacements à privilégier dans un contexte limitant. (Beaulieu, 2018; Direction générale de la Chaudière-Appalaches [DGCA], conversations, 2017-2018)

En considérant l'ampleur des conséquences du réseau routier sur la biodiversité et l'importance de procéder à la mise en place de mesures de mitigation, il apparaissait pertinent de se pencher sur un des défis que les experts en environnement du MTQ rencontraient dans le processus de mise en place de passages fauniques afin d'y trouver des solutions. L'objectif général du présent essai est donc de développer une méthodologie ayant pour finalité l'obtention d'un outil cartographique qui permettrait d'obtenir une vision globale du territoire et qui guiderait vers des choix stratégiques pour la mise en place de passages fauniques ou la mise en branle d'études spécifiques à l'échelle d'une région administrative. Afin d'y arriver, une revue de littérature permettra de mettre en évidence un ensemble des méthodologies présentant, entre autres, le choix de données géospatiales et les différentes analyses effectuées sur ces dernières, et sur lesquelles pourrait se baser la construction de la présente méthodologie. Une analyse basée sur les limites du MTQ permettra ensuite de mettre en évidence les analyses à privilégier pour la création de l'outil cartographique. Afin que le choix d'analyse final soit adapté à chacune des directions générales territoriales (DGT), une méthodologie globale, basée sur la littérature, la priorisation des analyses ainsi que des essais-erreurs effectués dans le contexte de l'étude de cas, sera présentée. Le territoire de la Chaudière-Appalaches où est basée la Direction générale de la Chaudière-Appalaches (DGCA) du MTQ servira d'étude de cas. Il permettra donc de tester et d'ajuster la méthodologie et de vérifier la pertinence de l'outil qui en ressortira. Cela permettra d'obtenir une méthodologie et un outil éprouvés et pouvant être réutilisés par d'autres DGT.

Le présent essai se base une revue de littérature rigoureuse et adaptée au contexte québécois, fondée sur de nombreux articles tirés de la littérature scientifique ou institutionnelle, dont la plupart ont été révisés par des pairs. En effet, les documents consultés ont été développés par des organismes reconnus dans le domaine de l'environnement, par des professeurs ou chercheurs reconnus dans le domaine de l'écologie routière ou par des ministères québécois. Afin de rendre le présent document encore plus concret, des experts du MTQ ont également été consultés durant l'élaboration de l'essai ainsi que lorsque l'auteure du présent essai était à l'emploi du MTQ.

Afin d'arriver à l'objectif général préalablement présenté, l'essai a été divisé en sept chapitres. Le premier chapitre consiste en une mise en contexte de la problématique. Il expose les différents impacts reliés aux routes, les mesures de mitigation qui peuvent être prises pour les atténuer ainsi que le contexte de mise en place de passages fauniques au Québec. Le chapitre 2 dresse un résumé de la problématique soulevée par le chapitre 1 et expose les objectifs qui permettront de la résoudre. Le processus qui sera utilisé pour élaborer la méthodologie y est également exposé. Au chapitre 3, on présente une revue de littérature couvrant différents projets ayant eu lieu à différentes échelles d'analyse et pouvant être reliés de près ou de loin aux objectifs du présent essai. Le chapitre 4, quant à lui, présente un résumé de la démarche utilisée pour sélectionner les types d'analyse cartographique et géospatiale à préconiser pour le MTQ et expose celles ayant été retenues. On y présente, finalement, le processus méthodologique complet qui permet d'arriver à l'élaboration de l'outil cartographique (une série de cartes). Au chapitre 5, on expose l'application de cette méthodologie, dans le but d'obtenir une série de cartes pertinente à la DGCA. Ce chapitre présente, entre autres, l'ensemble des enjeux du territoire de la Chaudière-Appalaches et de la DGCA, et met en lumière les objectifs propres à cette DGT. Le plan d'analyse ayant été suivi (choix final des données, des analyses et des traitements à réaliser) ainsi que les résultats tirés de l'outil cartographique (un total de quatre cartes) sont ensuite présentés au chapitre 6, où une discussion est effectuée sur ces derniers. Finalement, une série de recommandations portant autant sur le processus d'élaboration d'une méthodologie, sur la pertinence de cette dernière ainsi que sur les actions à prendre pour améliorer la mise en place de passages fauniques est exposée au chapitre 7.

1. MISE EN CONTEXTE

Afin de poser des bases claires pour la compréhension de la problématique traitée dans le présent essai, le chapitre 1 expose de façon sommaire les conséquences provoquées par les routes, les mesures de mitigation et concepts développés pour en diminuer l'impact, ainsi que le contexte de mise en place de ces mesures au Québec.

1.1 Densification du réseau routier

Le réseau routier fait maintenant partie intégrante des nombreux paysages à travers le monde, et particulièrement dans les pays industrialisés (MTMDET, 2016). En effet, les exemples de l'augmentation de la fragmentation par les routes sont nombreux. En Europe, comme le territoire est relativement réduit et très peuplé, le réseau de transport terrestre est étendu et la densité de routes est élevée. À titre d'exemple, au cours des 30 dernières années, le réseau autoroutier de la France s'est considérablement développé, passant de 170 km en 1960 à 11 000 km en 2010. Comme le pays approche de sa capacité maximale à soutenir un réseau routier, on compte augmenter d'ici 2020 de seulement 730 km, après quoi les modifications au réseau routier auront plutôt lieu à partir des infrastructures déjà en place (élargissement des autoroutes, par exemple). (Carsignol, 2012; Jaeger, 2012) Un phénomène semblable se produit en Amérique du Nord, mais à une autre échelle. En effet, la fragmentation du paysage canadien, entre autres, ne cesse d'augmenter, mais elle se fait sur un territoire beaucoup plus vaste. (Jaeger, 2012)

Plus spécifiquement, au Québec, le territoire est sillonné par des centaines de milliers de kilomètres, dont environ 30 988 km, qui constituent le réseau supérieur, sont sous la responsabilité MTQ (MTQ, 2015; MTQ, 2018b). Ainsi, au Québec, le réseau continue d'être développé en longueur, mais est également développé à partir de l'existant (élargissements, réfections, etc.). En plus de la croissance du réseau routier, un autre phénomène est observable, soit celui de l'augmentation de la circulation. (DGCA, conversations, 2017-2018; Peltier, 2012) Depuis 1999, une augmentation de l'utilisation du réseau routier à l'échelle du Québec a été observée. Le kilométrage total parcouru annuellement par l'ensemble des véhicules est passé de 45 milliards à plus de 50 milliards de km en 2009, soit une augmentation de 10%. (Peltier, 2012)

Bien que ces voies de transport aient permis un développement économique efficace et la mise en place de la société telle qu'elle est aujourd'hui, elles ont toutefois drastiquement modifié les écosystèmes qu'elles sillonnent et fragmentent (MTMDET, 2016). Le réseau routier serait en fait une des perturbations les plus importantes du paysage habité de l'Amérique du Nord (Primack, 2014; Trombulak et Frissell, 2000). Ainsi, en considérant le développement constant des réseaux routiers et l'augmentation du nombre de véhicules sur les routes, il est plausible de croire que l'impact des routes sur la biodiversité a également augmenté considérablement au cours des dernières décennies (Forman et Alexander, 1998; Peltier, 2012).

1.2 Impacts des routes sur l'environnement

Plusieurs études ont permis de relever les multiples effets des structures linéaires telles que les routes sur différentes espèces fauniques. Des corrélations négatives entre des critères comme la densité des routes ou de la circulation et des indices fauniques (densité de population ou diversité génétique, par exemple) ont été démontrées chez plusieurs taxons (amphibiens et mammifères, entre autres) (Clevenger et Huijser, 2011; Fahrig, Pedla, Pope, Taylor et Wegner, 1995; Forman et Alexander, 1998; St-Laurent, Renaud, Leblond et Beauchesne, 2012; Villard, Mazerolle et Haché, 2012). Ainsi, comme la modification des écosystèmes par les routes comporte son lot de conséquences sur la faune (Primack, 2014), la présente section expose sommairement les impacts principaux que provoque la fragmentation du paysage sur les populations fauniques.

1.2.1 Mortalité faunique

Les premières évaluations des impacts écologiques des routes sur la faune ont été réalisées en se basant sur la mortalité faunique induite par les collisions qui est en effet la conséquence la plus directe et la plus facilement observable (Villard et al., 2012). D'ailleurs, selon Jaeger et Fahrig (2004), la mortalité routière nuirait davantage à la persistance des populations que l'effet de barrière, principalement causé par un comportement d'évitement (voir sous-section 1.2.2). Le nombre d'accidents relevés annuellement, et seulement pour la grande faune, s'élèverait à environ 45 000 accidents au Canada et de 1 à 2 millions aux États-Unis (Clevenger et Huijser, 2011). Cette conséquence des routes entraîne, chez certains groupes taxonomiques (amphibiens, reptiles, mammifères, certains insectes), un taux de mortalité important (Fahrig et al., 1995; McCall et al., 2010; Villard, et al., 2012). Ainsi, la mortalité induite par les routes affecte le maintien des populations locales par la diminution directe des effectifs populationnels (Clevenger et Huijser, 2011).

Malgré le fait que différentes espèces soient affectées, l'attention est souvent mise sur les collisions avec les cervidés, qui peuvent également représenter un enjeu de sécurité routière majeur pour les usagers (MTQ, 2018a). Au Québec, les collisions avec les cervidés représentent 99% des accidents routiers impliquant la faune, dont 90% avec le cerf de Virginie et 9 % avec l'orignal. Le phénomène semble même en augmentation. En effet, de 2001 à 2005, les accidents routiers avec la grande faune sont passés de 4830 à 5760 collisions. (Peltier, 2012) Bien que ce ne soit pas le cas pour toutes les espèces de cervidés impliqués dans les accidents routiers, les pertes d'effectifs, chaque année, peuvent représenter un problème pour certaines populations (Doyon et Fortier-Guay, 2017 ; St-Laurent et al., 2012).

Outre les espèces dont la mortalité est tenue en registre (grands mammifères, principalement), d'autres taxons, comme les amphibiens, sont particulièrement sensibles aux routes en raison de leur réponse

comportementale (Villard et al., 2012). Fahrig et al. (1995) ont d'ailleurs pu montrer que les densités d'anoures subissent des diminutions importantes en raison de la mortalité due à la circulation. La réponse comportementale de certains reptiles et amphibiens vivant dans des milieux humides longeant les routes fait d'ailleurs en sorte qu'en temps de reproduction, où de petites migrations sont parfois nécessaires, la faune tentera de traverser, et subira des mortalités massives à cette période spécifique (Bergeron, 2012; Fahrig et al., 1995).

1.2.2 Barrière au déplacement

Outre la mortalité routière, qui est facilement observable, d'autres facteurs découlant de la présence des routes influencent négativement les populations fauniques. En effet, le réseau routier peut représenter une barrière au déplacement et provoquer des comportements d'évitement des routes chez certaines espèces (Jaeger et Fahrig, 2004; Trombulak et Frissell, 2000). Certaines se sont même adaptées et vont jusqu'à ajuster leur comportement dans le but d'éviter les collisions avec les véhicules (Baker, Dowding, Molony, White et Harris, 2007).

L'effet de barrière peut se traduire par diverses modifications comportementales. Celles-ci peuvent entraîner, entre autres, une modification de l'utilisation de l'espace. En effet, certaines espèces, comme plusieurs oiseaux, en raison du dérangement que provoquent les routes, vont complètement éviter les zones à proximité du réseau routier (Forman et Alexander, 1998; Villard et al., 2012). D'autres espèces vont plutôt montrer un comportement d'évitement une fois arrivées à la route, et n'effectueront pas de tentatives de traversée en rebroussant chemin (figure 1.1) (Jaeger et Fahrig, 2004).

Bien que ces comportements ne se traduiront pas par une perte directe d'individus de la population touchée, on percevra davantage une perte fonctionnelle d'habitats pour les espèces qui éviteront la route et échoueront leur traversée (Clevenger et Huijser, 2011; Lesmeries, Dussault et St-Laurent, 2012). L'effet de barrière fera également en sorte que le flux génétique sera diminué ou que l'accès aux ressources, parfois essentielles, situées de part et d'autre de la route sera diminué (Clevenger et Huijser, 2011, Lesmeries et al., 2012; Trombulak et Frissell, 2000; Villard et al., 2012). Les comportements d'évitement peuvent même entraîner une augmentation de la dépense énergétique des individus touchés, qui doivent modifier leur trajectoire pour atteindre certaines ressources ou habitats essentiels (St-Laurent et al., 2012). Tous ces éléments entraîneront, ultimement, des taux de mortalité plus hauts, des taux de reproduction réduits, des effectifs populationnels réduits ainsi qu'une plus faible viabilité (Clevenger et Huijser, 2011). Ainsi, parmi les espèces touchées par les diminutions d'effectifs on retrouve, entre autres, les oiseaux, les amphibiens ou le caribou forestier (Fahrig et al., 1995; St-Laurent et al., 2012; Villard et al., 2012).

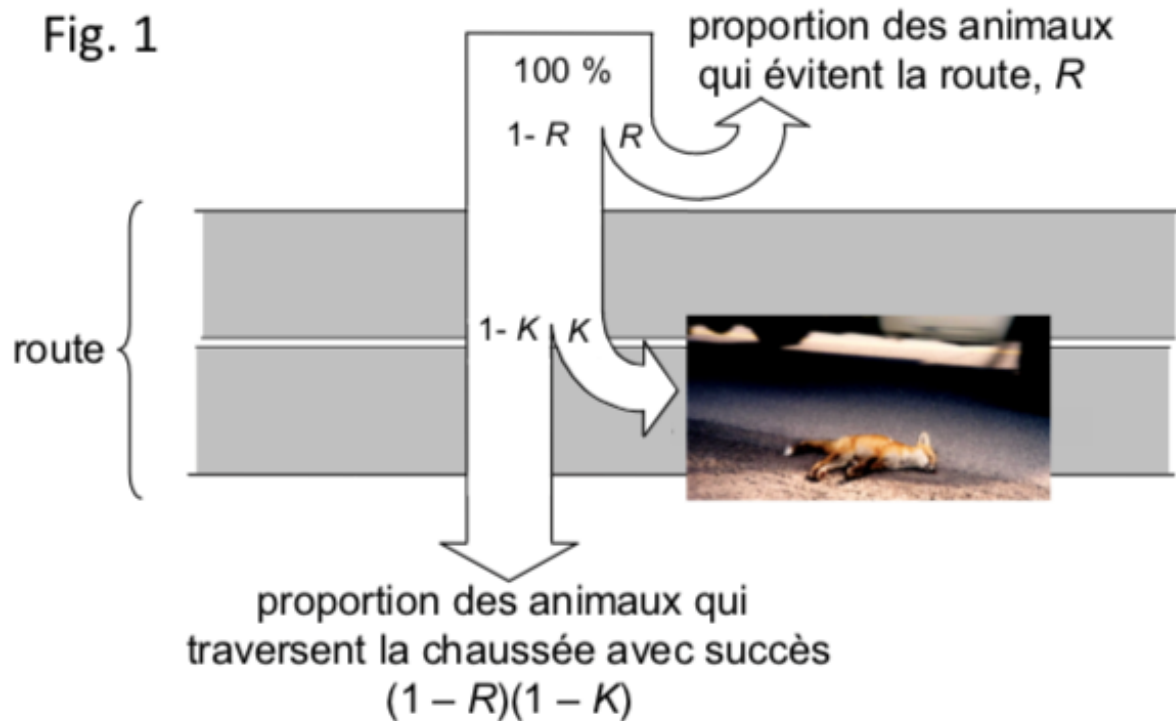


Figure 1.1 Comparaison graphique du comportement d'évitement et des collisions véhicules-faune induits par les routes (tiré de : Jaeger et Fahrig, 2004)

1.2.3 Perte d'habitats

Un autre impact des routes sur l'environnement consiste en la perte directe d'habitat (Clevenger et Huijser, 2011; Jaeger et Fahrig, 2004). En effet, lors de la construction de nouvelles routes ou l'élargissement d'infrastructures routières déjà en place, certains milieux comme des massifs forestiers d'intérêt ou des milieux humides sont affectés par les travaux et détruits de façon permanente par les infrastructures mises en place. Ces pertes d'habitats peuvent représenter une menace pour plusieurs espèces animales, et particulièrement pour celles nécessitant un large domaine vital et ayant un faible taux de reproduction ainsi que de faibles densités de population. Ces éléments décrivent d'ailleurs très bien les caractéristiques des carnivores à grand domaine vital, et en font donc les espèces les plus affectées par les pertes d'habitat. (Clevenger et Huijser, 2011) Il pourrait être possible de croire que les espèces ayant une bonne mobilité seraient moins affectées par la perte d'habitat induite par les routes, mais comme la mobilité entre les différents habitats est perturbée par d'autres facteurs, comme l'effet de barrière ou les collisions véhicules-faune (sous-sections 1.1.1 et 1.1.2), le concept de métapopulation pour les espèces mobiles ne fonctionne plus de manière optimale (Clevenger et Huijser, 2011; Primack, 2014).

Il va de soi que, plus la densité de routes est élevée, plus la perte d'habitat est grande, et plus les petits habitats de lisière deviennent nombreux. Ce phénomène cause une modification du type d'habitat disponible, ce qui peut nuire aux espèces d'intérieur, et devenir favorable pour les espèces vivant dans les habitats de lisière. Ces habitats de lisière en transition, où la faune indigène est potentiellement affectée et également en transition, deviennent des vecteurs de propagation et de croissance intéressants pour certaines espèces végétales exotiques envahissantes. (Clevenger et Huijser, 2011; Primack, 2014; Trombulak et Frissell, 2000)

1.2.4 Dégradation de l'habitat

En plus de modifier physiquement les habitats, les routes contribuent également à la perturbation chimique des écosystèmes. En effet, les travaux d'entretien et l'utilisation des routes par les véhicules font en sorte d'introduire une variété de produits comme des métaux lourds et des sels de déglçage, une diversité de molécules organiques ou encore des nutriments qui contamineront les écosystèmes adjacents aux routes. (Forman et Alexander, 1998; Trombulak et Frissell, 2000) Ainsi, l'introduction de ces substances dans l'environnement peut contribuer, entre autres, à la contamination des sols et de l'eau, et peut ainsi engendrer la mort de différents organismes terrestres et aquatiques sensibles à ces substances. La présence de sel de voirie, plus spécifiquement, peut contribuer à attirer certains grands mammifères près des routes, et à augmenter la mortalité par collision. (Forman et Alexander, 1998; Trombulak et Frissell, 2000)

1.3 Facteurs à considérer dans l'évaluation des impacts des routes sur la faune

Les impacts majeurs présentés à la section précédente peuvent varier ou être influencés par différents éléments, comme le contexte environnemental dans lequel se situe la route. La prochaine section vise donc à poser quelques nuances sur les points exposés plus haut.

1.3.1 Nature de l'espèce

La mortalité causée par les routes, l'effet de barrières des routes ou la perte et la dégradation d'habitats peuvent influencer différemment les diverses espèces touchées. En effet, certains taxons seraient beaucoup plus sensibles aux effets des routes que d'autres et subiraient des diminutions d'effectifs beaucoup plus importantes.

Comme mentionné précédemment, il semblerait que les mammifères carnivores ayant un taux de reproduction faible, un domaine vital très grand et des densités de population faibles sont très sensibles à la perte d'habitats induite par les routes. Les espèces peu mobiles, comme les amphibiens, seraient également très affectées par ce type de perturbation. (Clevenger et Huijser, 2011; Clevenger et Wierzchowski, 2006; Trombulak et Frissell, 2000) D'autres grands mammifères, très vulnérables aux changements, sont particulièrement affectés par les routes. Le caribou forestier, entre autres, connaît un déclin important

puisqu'il possède un faible taux de reproduction et que la relation proie-prédateur qu'il entretient avec le loup est fortement modifiée par la présence des routes. C'est en effet l'utilisation des routes par les prédateurs comme corridors de déplacements qui font en sorte que les caribous sont plus vulnérables. (St-Laurent et al., 2012)

Concernant le dérangement (mouvement, bruit, etc.) provoqué par la présence des routes, il semblerait que les espèces les plus affectées soient les oiseaux. En effet, plusieurs études montrent des abondances de populations très faibles en bordure des routes (Clevenger et Wierzchowski, 2006; Villard et al., 2012).

Il a également été observé que les espèces qui ne présentent pas de comportement d'évitement sont plus susceptibles de subir de la mortalité induite directement par les collisions avec les véhicules, qui est d'ailleurs l'impact ayant l'effet le plus négatif sur les effectifs des populations affectées par les routes. (Clevenger et Huijser, 2011; Jaeger et Fahrig, 2004).

1.3.2 Densité des populations

Plusieurs éléments font en sorte d'amplifier le nombre de collisions avec la faune. L'un d'eux est en fait la densité des différentes populations touchées. En effet, on note que les accidents ne seraient pas seulement dus à l'augmentation du débit routier, mais également à l'augmentation de la densité des populations de certains grands mammifères, ce qui est le cas des populations de cerfs ou d'orignaux à certains endroits au Québec. (Peltier, 2012) Sans nécessairement que la densité de la population soit forte à grande échelle, une petite population très dense à proximité d'une route pourrait également causer un taux de collisions plus élevé (Bouffard, Leblanc, Bédard et Martel, 2012). Bien que les fortes densités amplifient le nombre d'accidents, ce facteur peut également faire en sorte que les mortalités causées par les routes n'aient pas un effet significatif sur la viabilité de ces populations, en raison du nombre d'individus qui les composent (Doyon et Fortier-Guay, 2017).

1.3.3 Emplacement des routes

L'impact que peuvent avoir les routes sur la faune dépend fortement de l'emplacement de ces dernières, et, entre autres, des habitats qu'elles traversent. Il a en effet été montré que les collisions sont plus fréquentes lorsque la route est bordée d'un couvert végétal (Clevenger, Chruszcz et Gunson, 2003). Il va de soi, en effet, que la présence d'habitats propices ou essentiels en bordure des routes peut accentuer le nombre de collisions. À titre d'exemple, la plupart des cervidés ont un besoin particulier en sel pour leur métabolisme, et doivent se déplacer vers des écosystèmes particuliers pour combler leur besoin en minéraux. Ainsi, lorsque les orignaux doivent se déplacer vers des habitats riches en sel, comme les mares salines, et que des routes se trouvent à proximité ou constituent un obstacle entre l'animal et l'habitat particulier, les collisions seront plus fréquentes. (Bouffard et al., 2012; Dussault, Laurian et Ouellette, 2012; Forman et Alexander,

1998; Trombulak et Frissell, 2000) Dans un même ordre d’idée, il est connu que de traverser avec une route un habitat particulier et essentiel, comme un ravinage de cerfs de Virginie, augmente fortement les collisions véhicules-faune (Lavoie et al., 2012).

1.3.4 Contexte routier

Le type de route peut avoir une influence sur la nature des conséquences qu’elle engendrera. De manière générale, il semblerait que les routes à grand débit et à grande vitesse de circulation seraient les barrières les plus importantes au déplacement et aux échanges entre populations, bien que les routes de moindre importance n’aient pas un effet négligeable (tableau 1.1). (Clevenger et Huijser, 2011)

Clevenger et al. (2003) ont montré, plus spécifiquement, que les collisions avec les petits mammifères et les oiseaux sont systématiquement plus nombreuses sur les autoroutes à faible volume (plutôt que sur les autoroutes majeures, à fort débit). En effet, ces taxons auraient davantage tendance à éviter des autoroutes comme la 10, 20 ou 40 (au Québec) (MTQ, 2018a) où les voies sont très larges et où le bruit est important, et subissent plus de mortalité sur les autoroutes avec moins de débit routier (comme la route 175 avant son élargissement) (Bédard, 2012) puisque les comportements d’évitement seront potentiellement amoindris et les tentatives de traversées plus nombreuses. (Clevenger et al., 2003) Des résultats semblables ont été trouvés pour les amphibiens. Les auteurs expliquent que, pour ce taxon, cet effet pourrait s’expliquer par le fait que les milieux humides se retrouvent davantage à proximité les uns des autres le long des autoroutes de moins grande envergure, ce qui favoriserait la traversée vers ces milieux. Il faut toutefois noter que ces résultats peuvent varier d’une espèce à l’autre, et qu’il ne faut pas négliger les différents types de routes. (Clevenger et al., 2003)

Tableau 1.1 Volume de circulation et effets sur la faune (inspiré de : Clevenger et Huijser, 2011)

Débit journalier moyen annuel	Effet sur la faune
< 2500	La mortalité reliée à la circulation ainsi que la proportion d’animaux repoussés sont faibles.
2500 – 10 000	La mortalité reliée à la circulation est élevée, la proportion d’animaux repoussée commence à augmenter et le nombre de traversées réussies diminue drastiquement
> 10 000	Seule une petite proportion des traversées sont réussies. Une grande proportion des animaux sont repoussés en raison du bruit et du volume de trafic. La mortalité due à la circulation est plus faible.

Outre le type de route, il est intéressant de noter que l'augmentation généralisée du débit routier et du nombre de véhicules sur les routes sur l'ensemble du réseau ferait en sorte d'augmenter significativement les collisions avec la faune en général (Forman et Alexander, 1998 ; Peltier, 2012).

1.4 Diminuer les impacts des routes sur les écosystèmes

Les réseaux routiers représentent une perturbation majeure qui modifie les écosystèmes. La présente section expose d'abord comment la prise en compte des milieux naturels dans les projets a débuté, puis discute, de façon globale, des manières de remédier aux impacts négatifs des routes.

1.4.1 L'écologie routière

Les impacts des routes sur l'environnement attirent de plus en plus l'attention de la communauté scientifique (Clevenger, 2012). L'intérêt grandissant porté à cette problématique environnementale a d'ailleurs donné naissance à un nouveau concept, soit l'écologie routière, une discipline relativement récente qui connaît une forte expansion, et qui vise à comprendre et atténuer les impacts et interactions entre les routes et la faune, principalement (Bédard et al., 2012b; Coffin, 2007; Forman, 1998). À titre d'exemple, la fragmentation croissante du paysage canadien a fait en sorte que les passages et les corridors fauniques ainsi que les systèmes de surveillance des mouvements de la faune retiennent de plus en plus l'attention (Clevenger, 2012; Bédard et al., 2012b).

Comme le mentionne Coffin dans sa revue de littérature publiée en 2007, c'est dans les années 1970 que les premières préoccupations concernant l'impact des routes sur la faune ont commencé à faire surface. À la même époque, les notions d'écologie du paysage ont également commencé à intéresser les biologistes. Ce sont donc la rencontre entre ces disciplines et l'augmentation considérable d'études publiées portant sur l'écologie routière qui ont donné naissance à l'écologie routière, discipline qui a été officialisée par Forman (1998). (Clevenger, 2012; Coffin, 2007)

L'intégration de ce concept a commencé en Europe bien avant que celui-ci soit intégré en Amérique du Nord (Bédard et al., 2012c). C'est d'ailleurs en Suisse qu'ont vu le jour les premiers passages fauniques (Jaeger, 2012). Au Québec, les préoccupations découlant des conflits entre les routes et la faune ont débuté il y a environ une vingtaine d'années. D'ailleurs, la première problématique à avoir attiré l'attention concernait l'enjeu de la sécurité routière et des collisions avec les grands mammifères. Avec le temps, d'autres préoccupations ont émergé, comme celle des conséquences des routes sur la faune, d'où l'intégration plus graduelle du concept de l'écologie routière dans les projets routiers. (Bédard et al., 2012b; Bédard et al., 2012c)

1.4.2 Mesures de mitigation

Afin d'éviter ces impacts, les autorités responsables de la mise en place des infrastructures routières possèdent plusieurs options. Lorsque les projets le permettent et que les habitats touchés sont connus à l'avance, la première option demeure d'éviter les milieux d'intérêt. Si la première option n'est pas possible, il y a toujours la possibilité de mettre en place des mesures de mitigation et, en dernier recours, de compenser la perte en recréant de nouveaux habitats (Clevenger et Huijser, 2011). Comme il peut être complexe d'éviter certains espaces, et que les compensations ne favorisent pas nécessairement une limitation de la fragmentation, les mesures de mitigation demeurent une option intéressante, ce que montre d'ailleurs la littérature. Les recherches menées par la communauté scientifique, en plus de porter sur les conséquences du réseau routier sur l'environnement, sont de plus en plus nombreuses à se pencher sur les moyens à mettre en place pour réduire l'impact des routes sur le paysage. (Bédard et al., 2012c; Clevenger et Huijser, 2011)

Les mesures de mitigation, d'abord, se divisent en deux grandes catégories, soient celles visant à améliorer la sécurité des usagers et réduire la mortalité due aux collisions véhicules-faune et celles visant à maintenir ou rétablir une connectivité entre des habitats.

Les mesures favorisant la connectivité peuvent s'appliquer autant au milieu terrestre qu'au milieu aquatique (adaptées à l'ichtyofaune), mais pour les besoins du présent essai, les mesures adaptées aux poissons ne seront pas traitées. Ainsi, les mesures pour assurer le passage de la faune de part et d'autre de la route afin d'assurer une connectivité sont très nombreuses et variées. Bien que moins fréquents, ils peuvent prendre la forme de passages supérieurs de types ponts d'étagement, aménagés spécialement pour la faune, comme ceux retrouvés dans le parc national de Banff. Ces passages peuvent être adaptés à de multiples espèces, mais principalement pour la grande et la moyenne faune. (Clevenger, 2012) La connectivité peut également être assurée par des passages inférieurs, qui peuvent servir à une multitude d'espèces selon le type d'infrastructure mis en place. Ainsi, que ce soit un ponceau adapté pour la petite et moyenne faune, un pont ou un pont d'étagement élargi et adapté à la faune, un tunnel spécifique à l'herpétofaune ou un passage sous-terrain spécifique à la faune, tous permettent d'améliorer les déplacements d'une diversité d'espèces. (Bédard, 2012 ; Clevenger et Huijser, 2011)

La seconde catégorie de mesures, davantage axée sur l'évitement des collisions, comprend des mesures relativement différentes des passages fauniques. En effet, pour améliorer la sécurité des usagers, une des principales méthodes utilisées est la mise en place de clôtures. Ces dernières peuvent être adaptées à différents taxons et permettent de les empêcher d'atteindre la route. Ces aménagements sont souvent jumelés à des sautoirs ou rampes de fuite, qui permettent à des animaux qui se seraient retrouvés sur la route dans une zone clôturée de retourner à l'habitat, sans que les individus présents en milieu forestier ne puissent, eux, avoir accès à la route. (Lavoie et al., 2012) Une multitude d'autres mesures peuvent être mises en place

pour réduire les collisions, comme l'apposition de signalisation indiquant la présence d'une traversée particulière à un certain moment de l'année ou tout au long de l'année, de l'éclairage, des réflecteurs, des détecteurs de faune qui activent des affiches lumineuses, etc. Ces aménagements permettent donc soit d'avertir les usagers de la route, soit d'empêcher physiquement la faune de se trouver sur les routes. (Bergeron, 2012; Clevenger et Huijser, 2011; Vallée, Bélanger et Fortin, 2019)

Comme l'ont montré les précédentes descriptions, les mesures à prendre pour assurer la connectivité et pour favoriser la réduction des collisions sont différentes et complémentaires. Clevenger et al. (2003) avancent qu'il est important de tenter d'assurer à la fois une protection contre les collisions et d'assurer un passage pour le maintien de la connectivité. Ainsi, comme les clôtures peuvent nuire à la connectivité si elles sont installées sans passage et que les passages, quant à eux, nécessitent la mise en place de clôtures pour guider la faune, les deux types de mesures sont régulièrement jumelés sur le terrain. (Clevenger et al., 2003; Lavoie et al., 2012; Vallée et al., 2019)

1.5 L'intégration et l'application du concept d'écologie routière

La mise en place de mesures de mitigation en vue de tenir compte de l'environnement dans le développement du réseau routier est un processus complexe qui tient compte d'un grand nombre de facteurs. La présente section se veut un portrait de ce processus, et mettra l'emphase sur celui du Québec, qui fait l'objet du présent essai.

1.5.1 Comparaison globale Europe et Canada

La mise en place de mesures de mitigation au niveau des routes est très spécifique à chaque pays. En effet, les instances responsables, le contexte d'application et les moyens financiers ne sont que des exemples d'éléments qui peuvent varier d'une région à l'autre. De manière générale, en Europe, les territoires sont petits et densément peuplés, ce qui fait en sorte que les enjeux concernant la fragmentation des habitats sont différents de ceux de l'Amérique du Nord. Également, dans certains pays comme la France, une grande proportion des routes appartient à des entreprises privées, ce qui fait en sorte que la mise en place d'aménagements fauniques passe par un processus différent de celui du Canada. Il semble donc que ce contexte, propre à l'Europe, ait fait en sorte que la mise en place d'aménagements fauniques soit davantage intégrée aux pratiques et que l'application au jour le jour du concept d'écologie routière soit fait de manière plus intégrée aux projets routiers. Les approches à échelle régionale ayant pour objectif de rétablir la connectivité sont d'ailleurs ancrées dans les institutions responsables des réseaux routiers en Europe. À titre d'exemple, en France, les projets de passages sont inclus beaucoup plus systématiquement aux nouvelles constructions ainsi qu'aux réfections prévues. On défend d'ailleurs le principe que les coûts, à long terme, sont beaucoup moins élevés lorsque les aménagements sont construits dès le départ plutôt que comme

mesure d'urgence. Au Canada, les mesures de mitigation des impacts des routes sont plutôt ponctuelles, et ont été réalisées principalement lors de projets majeurs. De façon générale, ces aménagements semblent être proposés dans le but d'améliorer la sécurité routière plutôt que pour assurer la conservation de la biodiversité. Le financement et la justification de ce type de projet restent axés sur des éléments qui auront un impact concret immédiat sur la population. Ainsi, bien que le contexte soit différent, la conservation des écosystèmes par le maintien de la connectivité ne semble pas un argument assez fort, à ce jour au Canada, pour justifier ce genre de projets, alors que ces raisons suffisent en Europe. (Bédard et al., 2012c; Carsignol, 2012; Clevenger et Huijser, 2011)

1.5.2 Portrait global de l'intégration au Québec

Au Québec, étant donné que le mandat principal du MTQ n'est pas relié directement au maintien de la biodiversité (MTQ, 2018a), peu de directives ont été mises en place par le passé pour s'assurer du maintien de la connectivité. D'ailleurs, une des seules actions gouvernementales ayant été prises au pays indiquant la nécessité d'inclure le concept de connectivité au développement du réseau routier est la signature de la résolution 40-3 de la 40^e Conférence des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (Secrétariat des conférences intergouvernementales canadiennes, 2016). En plus d'avoir eu peu de lignes directrices concernant la connectivité, le MTQ n'a également reçu que très peu de directives de la part d'autres ministères comme le ministère de la Forêt, de la Faune et des Parcs (MFFP). D'ailleurs, à ce jour, le MTQ n'a aucune obligation légale d'assurer une certaine connectivité entre les habitats outre la réglementation venant de Pêches et Océans Canada (MPO) pour la libre circulation du poisson (MPO, 2016). (DGCA, conversations, 2018; MFFP, 2018)

Ce contexte a ainsi fait en sorte que les premières initiatives d'intégration des principes de l'écologie routière aux projets routiers auraient découlé de convictions d'employés de la fonction publique (MTQ, MFFP) ou de réponses à des études d'impact (réactions d'urgence à des zones d'accident, par exemple) plutôt que d'exigences gouvernementales veillant à assurer une connectivité. (DGCA, conversations, 2018)

Ainsi, bien que les préoccupations liées aux routes aient commencé à faire surface dans les années 90 au MTQ, les premières mesures pour y remédier ont davantage commencé à être mises place dans les années 2000. Comme le développement routier dans les années 1980, suite à la crise économique, était faible, les circonstances n'ont pas permis de se pencher sur la question ni de passer à l'action. (J. Bélanger, conversations, 2018) Toutefois, dans les années 90, avec le mouvement amené par une suite d'événements clés (le rapport Brundtland de 1987, Sommet de la Terre de 1992, Protocole de Kyoto en 1997) ainsi que la nouvelle vague de développement du réseau routier, le contexte a fait en sorte que les réflexions ont refait surface, et il commençait davantage à être question d'inclure certaines mesures de mitigation dans les projets de développement routier. (P.-M. Vallée, conversations, 2018) Étant donné que les mesures d'atténuation

comme les passages fauniques demandent généralement des budgets significatifs et des mesures de suivi, le contexte le plus favorable à leur mise en place au Québec a donc été celui des projets majeurs qui disposaient de ressources financières importantes. Par projet majeur, on fait référence à un projet routier d'envergure, comme la réfection ou l'élargissement d'une route sur plusieurs dizaines de kilomètres, qui peut impliquer plusieurs traversées de cours d'eau, par exemple. Ainsi, au Québec, ce sont les projets routiers d'importance dans ces années qui ont donné naissance, au cours des années 2000, aux premières mesures, soit l'instauration de passages fauniques. (Bédard, 2012; Clevenger, 2012; J. Bélanger et P.-M. Vallée, conversations, 2018; Vallée et al., 2019)

Cet élan et cet intérêt à diminuer l'impact des routes et ces nouvelles initiatives en écologie routière ont d'ailleurs mené à la tenue de deux colloques au Québec, en 2012 et 2017. Ces derniers ont permis de faire ressortir les grands enjeux qui persistent dans la province, et d'exposer les solutions qui s'offrent aux instances responsables. (Bédard, 2012b; Bédard, 2012c; Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatique, 2017)

1.5.3 Portrait appliqué et exemples de projets

Comme le laissait sous-entendre la sous-section précédente, les passages fauniques au Québec ont, pour la plupart, été construits de manière regroupée, c'est-à-dire que pour chaque projet, plusieurs passages étaient mis en place sur un même tronçon routier. C'est le cas de la route 175 et l'autoroute 73. Ce sera également le cas de l'autoroute 85, dans le Bas-Saint-Laurent, où une trentaine de passages fauniques seront aménagés. Des passages ont également été aménagés le long des autoroutes 10 et 55. (Bédard, 2012; Gratton, 2014; Lavoie et al., 2012; Vallée et al., 2019)

Les contextes qui expliquent l'aménagement de ces passages varient selon les projets. Le projet dont on entend parler le plus est celui de la route 175, qui traverse la réserve faunique des Laurentides. Étant donné que le MTQ devait procéder l'élargissement d'une route à une autoroute à voies doubles, et ce, dans un parc provincial, des mesures se devaient d'être prises, bien sûr, pour minimiser les effets de la fragmentation dans un territoire voué à la conservation, mais également pour éviter les accidents sur une route déjà dangereuse en raison des conditions climatiques particulières, de sa configuration et de la présence importante d'orignaux. Bien que la planification ait commencé à la fin des années 90, la construction s'est plutôt déroulée dans les années 2000. Différents types de passages fauniques et d'aménagements divers ont été mis en place le long de cette autoroute et plusieurs études réalisées par des chercheurs universitaires ont été menées afin de tirer des leçons sur les différentes améliorations qui auraient pu être apportées, les types de passages à privilégier, la variété de passages à mettre en place, etc. (Jaeger et al., 2017). Plusieurs mentionnent que le projet de la route 175 aurait été le chantier-école en ce qui a trait aux aménagements fauniques au Québec, et qu'il aurait ouvert le bal pour les autres projets qui lui auraient succédé. (Bédard,

2012; J. Bélanger et P.-M. Vallée, conversations, 2018) Il ne faut toutefois pas omettre qu'un projet comparable, celui de l'autoroute 73, s'est déroulé à peu près au même moment que celui de la route 175. Bien que la conception du projet de prolongement de l'autoroute ait commencé vers la fin des années 1990, c'est en 2004 que les travaux ont commencé, et ils se sont terminés en 2016. Dans ce cas, le principal facteur qui a mené à la création de plusieurs passages fauniques, sautoirs et clôtures est le fait que le prolongement de l'autoroute traversait directement deux ravages de cerfs de Virginie. La mise en place de ces aménagements particuliers visait à éviter les accidents avec les cervidés, ainsi qu'à minimiser l'impact sur l'utilisation de leurs habitats. Les passages sur ce tronçon sont plus uniformes que ceux sur la 175, c'est-à-dire qu'ils étaient pensés et dédiés au cerf de Virginie. (J. Bélanger et P.-M. Vallée, conversations, 2018; Lavoie et al., 2012; Vallée et al., 2019)

Ce sont les projets majeurs de cette envergure qui permettent de développer une expertise, et donc de mener vers une réflexion pour la réalisation de plus petits projets. De plus, les études scientifiques et les connaissances acquises qui en découlent permettent d'appuyer et de justifier plus facilement la réalisation de petits projets. (P.-M. Vallée, conversations, 2018)

Les projets ponctuels, sur de petits tronçons routiers sont plus rares, voir anecdotiques au Québec. À titre d'exemple, en Chaudière-Appalaches, des passages à moyenne faune ont été aménagés à Lévis étant donné que la Ville avait sollicité le Ministère pour aménager des passages fauniques au droit de structures situées dans des corridors écologiques qu'elle avait identifiés. Ainsi, dans ce cas, le choix de mettre en place des passages allait de soi, et la justification était simple en raison de la demande de la municipalité d'assurer la connectivité. (P.-M. Vallée, conversations, 2018) D'autres projets, comme celui des tunnels à amphibiens mis en place en 1999 dans la municipalité du Canton d'Orford en Estrie, sont nés d'initiatives locales, et ont par la suite été appuyées par le MTQ, qui a participé entre autres, à la mise en place de signalisation, et au suivi des aménagements (Bergeron, 2012). Ces exemples illustrent bien le contexte de mise en place de passages ou d'aménagements ponctuels. En effet, les passages ponctuels sont souvent des réactions à des demandes. Les prises de décision se font généralement lorsqu'il y a des facteurs externes, ou des opportunités qui favorisent la mise en place à un endroit précis. La prise de décision ne provient donc pas d'une planification, à l'échelle d'un territoire, mais plutôt de besoins ou d'opportunités ponctuelles, qui donnent probablement de bons résultats localement, mais pas nécessairement globalement, dans un contexte de ressources financières limitées. (DGCA, conversations, 2018)

En résumé, les projets routiers majeurs ainsi que les changements dans les idéologies et les modes de pensée suite à une période de récession ont mené à la mise en place de passages. Ces aménagements ont permis d'acquérir un bagage de connaissances suffisant pour répondre à des besoins et demandes ponctuels. Étant donné que l'aménagement de passages fauniques et de mesures de mitigation est demeuré et demeure

généralement réalisé au sein de grands projets majeurs, et les emplacements sont globalement réfléchis à l'échelle d'une autoroute et non à l'échelle d'un territoire, les projets sur de plus petits tronçons routiers sont plutôt ponctuels, et encore négligés. (DGCA, conversations, 2018)

1.5.4 Technicités de mise en place provinciale

Sur le réseau supérieur au Québec, la mise en place des aménagements fauniques est financée et réalisée par le ministère des Transports (MTQ, 2015). C'est, en effet, cette instance gouvernementale qui se charge de la planification, de la conception, du suivi des travaux et des aménagements et qui défraie les budgets pour réaliser le tout. Le ministère est également responsable de la réfection et de la construction d'une portion des traversées de cours d'eau sur le réseau local, alors il peut également y réaliser des aménagements particuliers. (MTQ, 2018a)

Le MTQ, généralement dans les projets d'envergure, peut aller chercher l'expertise d'autres ministères (MFFP, particulièrement), des universités et des organismes de conservation. Également, les suivis et les études pré et post-aménagements peuvent être réalisés par le Ministère ou donnés à mandat (aux universités, par exemple). (DGCA, conversations, 2018; Gratton, 2014)

En termes de structures administratives, ce sont les directions générales territoriales (DGT) et plus spécifiquement le secteur travaillant en environnement qui, individuellement, se chargent de l'implantation des aménagements particuliers dans leur région administrative. À la base, les secteurs « Environnement » de chaque DGT ont comme mandat principal de répondre aux exigences environnementales des autres ministères pour l'ensemble des travaux réalisés au MTQ dans chaque DGT. Avec le temps, les DGT, avec l'aide des bureaux centraux, ont développé leur expertise, ainsi que leur propre mission. En plus d'aller chercher les autorisations requises pour la réalisation des projets, le rôle du secteur travaillant en environnement s'est beaucoup élargi, et touche l'intégration des réseaux à leur environnement, autant en termes de paysages, qu'aux différents habitats et au milieu humain (MTQ, 2018a). D'ailleurs, comme mentionné précédemment, certaines lignes directrices en environnement proviennent des hautes instances du MTQ (protection de l'environnement lors de travaux, par exemple), mais les secteurs travaillant en environnement ne reçoivent toutefois pas de directives particulières quant à l'intégration des infrastructures au paysage en termes de connectivité. (DGCA, conversations, 2017-2018) Comme le rôle du Ministère repose d'abord sur le fait d'assurer le déplacement efficace et sécuritaire des personnes et des marchandises, la priorité et la mission ne touchent pas directement le maintien de la connectivité et de la biodiversité, et particulièrement si cette biodiversité ne représente pas un danger pour les usagers de la route (MTQ, 2018a). Ces éléments sont plutôt l'expertise d'autres ministères, comme celle du MFFP (MFFP, 2018a). Ainsi, comme exposé à la sous-section 1.5.2, les prises de conscience et remises en question des dernières années

et les initiatives proviennent davantage des directions territoriales qui souhaitent inclure l'aspect biodiversité dans les projets routiers. (DGCA, conversations, 2017-2018; MTQ, 2018a)

L'approche qui s'applique donc à ce jour est plutôt ascendante, ce qui peut parfois poser problème. Sans vision des hautes directions, la mise en place et la justification des projets peuvent être plus difficiles. Dans un premier temps, comme les ressources financières pour ce type de projets sont limitées, ces derniers doivent généralement être fortement justifiés. Puisque la sécurité des usagers est une priorité du MTQ, les projets liés aux collisions routières avec les grands mammifères sont plus facilement réalisables. (MTMDET, 2016; MTQ, 2018a; Peltier, 2012)

Dans un deuxième temps, malgré l'intérêt de conserver la biodiversité qui peut animer les DGT, le manque de temps et l'absence d'outils spécifiquement adaptés pour faciliter le choix d'emplacement pour les aménagements fauniques peuvent faire en sorte de limiter la réalisation de certains projets. De manière plus spécifique, les spécialistes en environnement ont accès à des outils informatiques relativement performants pour débiter une réflexion sur la mise en place d'aménagements fauniques. À titre d'exemple, l'outil IGO, adapté au MTQ, disponible dans toutes les DGT, est une infrastructure géomatique ouverte qui permet de mettre à disposition et de visualiser des couches d'information géospatiale variées et donne accès à une multitude de données environnementales. Si les DGT en font la demande, des couches supplémentaires à celles offertes de base peuvent être ajoutées pour répondre aux différents besoins. Des logiciels de géomatique comme ArcGIS (ESRI, s. d.) et MapInfo (Pitney Bowes, s. d.) sont disponibles pour aider à visualiser le territoire sous différents angles, avec différentes couches, et peuvent permettre de créer des cartes pour le travail au quotidien. (DGCA, conversations, 2017-2018)

Les outils et données disponibles sont donc de qualité, mais ne permettent pas de faire ressortir rapidement les zones d'intérêt sur le territoire sans un minimum de traitements et de planification. Ainsi, si des travaux à un pont sont prévus, par exemple, les outils et données sont parfaitement adaptés pour que les employés puissent vérifier quels types d'habitats sont présents à proximité, s'il s'agit d'un ravage de cerf ou s'il s'agit d'une zone problématique pour les accidents routiers. Cette analyse, très ponctuelle, permet également de cibler si des études plus approfondies sont nécessaires, comme des caractérisations des milieux naturels, et si un mandat doit être donné à une firme spécialisée avant la réalisation de travaux spécifiques. Toutefois, il demeure que les DGT n'ont pas accès à des outils spécialisés ou des méthodologies à suivre qui permettent d'avoir une vue d'ensemble du territoire qui serait indicatrice de zones d'intérêts sur lesquelles mettre des efforts. Les experts en environnement du MTQ n'ont généralement pas le temps pour analyser les données géomatiques fournies de façon à ce qu'elles indiquent les points chauds à l'échelle d'une région administrative. Ainsi, la démarche du moment ne permet donc pas nécessairement une priorisation à

l'échelle régionale qui tiendrait compte des divers enjeux du territoire. On se situe plutôt dans une démarche réactive, et pas nécessairement optimale. (DGCA, conversations, 2017-2018)

1.5.5 Le cas de la Direction générale de la Chaudière-Appalaches

Pour la DGCA, c'est le colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques (2017) qui a fait une différence dans les techniques d'approche face à la mise en place des passages fauniques. En effet, avant cette date, les seuls passages qui avaient été mis en place étaient ceux de la route 112 ainsi que ceux, détaillés précédemment, de l'autoroute 73 et ceux de la rivière Aulneuse à Lévis. (P.-M. Vallée, conversations, 2018) Ainsi, les passages installés étaient, comme il a été relevé plus tôt, davantage le résultat de demandes ponctuelles ou d'opportunités financières dans des projets majeurs. Toutefois, depuis le colloque de 2017, des changements ont été apportés au sein de l'équipe quant à la manière de procéder. En effet, lorsque des nouveaux projets ou des travaux de remplacements et de réparations sont planifiés sur des ponts ou ponceaux, une vérification est réalisée avec le logiciel IGO mentionné plus tôt, afin d'évaluer si le site prévu des travaux aurait un potentiel intéressant pour l'aménagement d'un passage faunique. Il s'agit d'une analyse très sommaire, et à très petite échelle, c'est-à-dire qui se limite au territoire adjacent à la structure en question. Il s'agit d'une bonne stratégie compte tenu des outils et du temps disponibles, mais il ne s'agit pas d'une approche globale qui permet de prioriser à plus large échelle. De plus, on parle, d'environ une centaine d'ouvrages par année sur un total de 10 000 qui sont soumis à des travaux donnant la possibilité d'aménager des passages fauniques, ce qui est relativement restreint en termes de proportion (P.-M. Vallée, conversations, 2018). L'équipe cherche donc, à ce jour, à obtenir un outil ou une méthode qui leur permettrait de mieux planifier, et par le fait même, d'obtenir un poids argumentaire plus fort pour justifier certains projets. Elle souhaite posséder un outil qui permettrait, en un coup d'œil, d'évaluer, à l'échelle de la région, les zones à prioriser en cas de travaux pour le positionnement de passages fauniques, plus particulièrement. (DGCA, conversations, 2018)

2. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

L'ensemble du chapitre 1 permet de mettre en lumière que les impacts des routes sur l'environnement sont multiples : réduction de la viabilité des populations, augmentation de la mortalité, rupture du flux génétique et bien plus (Clevenger et Huijser, 2011). De nombreuses mesures d'atténuation existent pour réduire les collisions routières impliquant la faune et faciliter l'accessibilité aux ressources et aux habitats essentiels sur l'ensemble du paysage (Clevenger, 2012), mais la mise en place d'aménagements fauniques est un processus complexe, qui doit tenir compte d'un ensemble d'enjeux (espèces, routes, connectivité, etc.) et passer par une réflexion stratégique afin que les choix des infrastructures et la localisation soient optimaux (Clevenger et al., 2003).

Au Québec, un intérêt se fait sentir au sein des DGT afin d'obtenir les moyens d'effectuer cette réflexion et de mieux planifier, afin d'inclure davantage le maintien de la biodiversité aux projets routiers. Ainsi, comme le MTQ se situe à la croisée des chemins entre l'intégration de mesures dans des projets à budgets importants et l'intégration systématique de mesures réservées à la faune, lorsque justifiées, les experts en environnement ont besoin d'outils pour faire pencher la balance.

Ainsi, il demeure que, malgré l'importance de prendre des mesures de mitigation au niveau des routes, il est encore difficile, comme le montrait le chapitre 1, de le faire au Québec en raison de plusieurs limites :

- Les mesures de mitigation sont mises en place aux endroits où des opportunités s'offrent, sans réflexion à échelle plus large ni priorisation.
- Les projets majeurs, par leur budget important et leur échelle de travail assez grande, permettent de positionner des aménagements de manière stratégique le long d'un tronçon routier. Toutefois, ils sont peu fréquents, et touchent généralement une très petite partie d'un territoire.
- Les aménagements plus ponctuels sont encore complexes à mettre en place puisqu'ils sont difficiles à justifier en raison de la mission du MTQ, particulièrement lorsqu'ils ne sont pas spécifiquement prévus dans une zone fortement accidentogène.
- La réflexion lors de la mise en place d'aménagements à petite échelle est généralement limitée aux terrains adjacents.
- Une réflexion de priorisation pourrait faciliter l'implantation de mesures ponctuelles, mais les ressources temporelles et les outils ne permettent pas encore d'y arriver facilement.

Les limites précitées, tirées du chapitre 1, ainsi que l'essai présenté par Beaulieu (2018) laissent croire que le choix optimal des emplacements des aménagements fauniques est un grand défi au Québec. En effet, en considérant qu'au quotidien, la majorité du travail d'aménagement de passages fauniques se fait ponctuellement et que les budgets sont limités (c.-à-d. un nombre limité de passages peuvent être aménagés

et une sélection doit être faite), il appert essentiel de trouver une manière d'identifier en amont les emplacements où l'aménagement de passages serait prioritaire. En plus de solidifier le poids des arguments à présenter pour l'utilisation de ressources financières, cela permettrait de s'assurer que les travaux réalisés sont les plus pertinents possible étant donné que le choix de l'emplacement des passages fauniques est un élément crucial pour assurer leur pertinence et leur pérennité (Beaulieu, 2018; Gratton, 2014).

L'objectif du présent essai est donc de développer une méthodologie adaptée au MTQ permettant d'obtenir un outil cartographique qui facilitera la prise de décision concernant la mise en place stratégique de passages fauniques à l'échelle d'une région administrative. Plus spécifiquement, la méthodologie devra permettre de :

- Obtenir une série de cartes qui permettent d'identifier des zones critiques où l'aménagement de passages fauniques devrait être considéré ou bien où la réalisation d'études plus approfondies devrait être encouragée, et ce, à l'échelle de la région.
- Prendre en compte le contexte socio-économique et biologique dans la priorisation des zones, afin d'adopter une vision qui considère la pérennité des aménagements.
- Tenir compte de la mission et des contraintes du MTQ afin d'obtenir une méthodologie réaliste et optimale.

La méthodologie se veut donc un processus qui permettra d'obtenir un outil cartographique qui présentera un premier aperçu global du territoire, et ce afin de diriger les premières réflexions qui mèneraient vers la priorisation de certaines zones. Afin de développer la méthodologie la plus complète possible, elle sera en partie basée sur une étude de cas, soit la Chaudière-Appalaches. L'outil obtenu dans le cadre de l'étude de cas permettra d'évaluer la pertinence et l'efficacité de la méthodologie proposée.

Pour atteindre l'objectif général de l'essai, plusieurs objectifs spécifiques doivent être respectés :

- Effectuer une revue de littérature permettant de faire ressortir un ensemble de méthodologies pertinentes pouvant inspirer l'élaboration de celle du présent travail.
- Élaborer une méthodologie adaptée au MTQ à l'aide de la revue de littérature.
- Tester la méthodologie en concomitance avec sa conception afin de pouvoir l'optimiser et l'adapter au maximum au contexte sélectionné.
- Émettre une série de recommandations techniques portant sur l'amélioration de l'outil et l'application de la méthodologie ainsi que sur les actions à entreprendre à la suite de l'application de la méthodologie, en se basant sur les résultats obtenus grâce à l'analyse de l'outil cartographique.

Ces objectifs constituent donc, de façon globale, le processus qui sera suivi pour arriver à développer la méthodologie à suivre par les experts du MTQ.

Avant d'aller plus loin vers le développement de cette méthodologie, une revue des différents outils déjà disponibles ainsi qu'un cadre théorique sur la manière de cibler différents points chauds seront réalisés.

3. THÉORIE SUR LE PROCESSUS DE POSITIONNEMENT DE PASSAGES FAUNIQUES

Dans le but de développer une méthodologie permettant de répondre à la problématique posée et aux objectifs spécifiques fixés, une revue de littérature s'impose. Ainsi, comme il s'agit d'une approche personnalisée au MTQ qui n'a encore jamais été développée à l'échelle d'une région administrative, des éléments devront être tirés de plusieurs types de méthodologies déjà existantes. En effet, afin d'orienter la procédure à suivre ainsi que le type d'analyse cartographique ou géospatiale à préconiser pour cibler les zones d'intérêts, la présente section expose différentes méthodologies qui détaillent, entre autres, les choix de données, d'espèces cibles ou d'analyses, et qui sont utilisés par divers organismes dont l'objectif final et l'échelle de travail peuvent varier. En effet, puisque l'objectif du présent essai porte sur la localisation d'aménagements fauniques à échelle régionale, mais que ce type de travaux est généralement réalisé à plus petite échelle, la revue couvrira à la fois des projets réalisés à échelle locale et régionale. De plus, comme les méthodologies utilisées pour localiser des passages à échelle régionale sont peu détaillées, des projets portant sur d'autres thèmes seront présentés (choix d'habitats d'intérêts pour la conservation, par exemple). Les éléments présentés au fil de cette section pourront guider vers le choix des données, le traitement des couches de base et les analyses spatiales à préconiser, entre autres.

3.1 Méthodologies de localisation d'aménagements fauniques à échelle d'un tronçon routier

Comme mentionné précédemment, le choix de l'emplacement d'aménagement est généralement réfléchi à plus petite échelle, c'est-à-dire à l'échelle d'un tronçon routier de quelques kilomètres. L'échelle locale est en effet celle à préconiser lorsque l'objectif est de trouver la localisation optimale et exacte pour positionner un passage faunique (Clevenger et Wierzchowski, 2006). Malgré cette différence d'échelle par rapport à celle visée dans le présent essai, les méthodes servant à identifier des zones où construire des aménagements fauniques à petite échelle seront passées en revue, dans l'optique où elles pourraient guider ou influencer les futurs choix d'analyse (chapitre 4 et 5), les recommandations ou être utilisées dans le but de préciser les résultats obtenus dans le présent essai.

Avant de débiter, il est important de considérer que le choix de l'emplacement d'un aménagement faunique peut être influencé par différents facteurs, selon le contexte et les objectifs. En effet, si les contraintes techniques ou financières sont plus ou moins limitantes ou si l'étude provient d'une instance gouvernementale ou d'une instance de conservation, par exemple, les méthodologies peuvent largement varier (Bédard, Alain, Leblanc, Poulin et Morin, 2012; Gratton, 2014). La présente section sera donc divisée par type d'analyse, mais il sera possible d'y distinguer l'objectif et le contexte derrière l'analyse.

3.1.1 Habitats et corridors écologiques

La première méthodologie présentée est généralement utilisée dans une optique de conservation et de maintien de la connectivité. La présente sous-section expose donc deux principaux exemples de projets ayant utilisé une méthode semblable : un en contexte québécois, et un en contexte européen.

Le premier exemple à être présenté est un protocole très détaillé trouvé dans la littérature, qui a été développé en contexte québécois, en prenant comme exemple l'autoroute 10, en Estrie, et dont les objectifs sont de faciliter le déplacement de la faune entre les habitats, de réduire les collisions avec les véhicules et de réduire la mortalité de la faune sur les routes. La méthodologie présentée par Gratton (2014) permet d'identifier les emplacements à prioriser pour la mise en place de passages fauniques par le biais de l'identification de corridors de déplacement et de noyaux ou d'habitats à relier. De façon très générale, il s'agit d'une analyse géomatique des corridors structuraux et noyaux de conservation basée sur des espèces ciblées à échelle d'un tronçon routier. Pour y arriver, Gratton (2014) met l'accent, d'abord, sur deux étapes importantes, soit celle de recueillir toutes les données pertinentes à l'analyse et celle de cibler des espèces. En contexte québécois, et pour ce genre de travaux, on suggère de se munir du type de données suivant :

- a. Occurrences d'espèces : données d'abattage (chasse), sites réputés pour l'observation faunique, données provenant des inventaires aériens
- b. Occurrences d'accidents : carcasses et collisions
- c. Autres données pertinentes :
 - i. Topographie, hydrographie, réseau routier
 - ii. Peuplements forestiers
 - iii. Milieux humides
 - iv. Autres habitats
 - v. Aires protégées
 - vi. Espèces menacées et vulnérables
 - vii. Zonage et affectation du territoire

Le protocole suggère ensuite de cibler des espèces puisque ce sont à partir de ces dernières que les noyaux et les corridors seront identifiés. Si l'objectif est davantage axé sur la réduction des accidents, il serait préférable de se concentrer sur la grande faune et d'utiliser des données empiriques indicatrices de présence, comme le monitoring des carcasses ou le système de diagnostic en sécurité routière (DSR). Si l'objectif est axé sur le rétablissement de la connectivité et des déplacements, on suggère d'axer sur la classification en guildes de mobilité, qui permettent d'y classer les espèces d'intérêt sur un territoire précis. (Clevenger et Huijser, 2011; Gratton, 2014)

Ainsi, une fois les espèces ciblées, l'étape suivante consiste à identifier les noyaux ou habitats à relier. Encore une fois, cette étape est dépendante des objectifs, mais également des espèces ciblées. À titre d'exemple, les noyaux et habitats identifiés et cartographiés pour l'exercice sont basés sur les fragments forestiers, les milieux humides, les cours d'eau et habitats riverains, les aires de concentration du cerf de Virginie, les corridors naturels déjà identifiés par Corridor appalachien, les sites d'abattage et toutes autres données validant la présence d'animaux en bordure de la route (inventaires, etc.). Une fois les habitats identifiés, il est ensuite possible d'identifier les corridors de déplacement grâce à une analyse multicritères, qui permet d'obtenir une matrice de résistance aux déplacements pour les espèces visées au départ. Une matrice de résistance est en fait une matrice pour laquelle une valeur a été donnée à chacun de ses pixels en fonction de l'occupation du territoire en se basant sur les préférences des espèces ciblées. Ces matrices servent de base pour la sélection de corridors qui ont le plus de chances d'être empruntés par les espèces ciblées. À ce stade de la méthodologie, il est possible d'inclure plusieurs paramètres différents, comme l'occupation du sol, mais il est également possible de tenir compte du cadre réglementaire et de la tenure des terres, par exemple. Ainsi, une fois les habitats et les corridors identifiés, il devient simple d'identifier les endroits exacts où positionner les passages sur un tronçon routier. (Gratton, 2014)

Une méthodologie semblable à celle de Gratton (2014) a été utilisée par Girardet, Foltête, Clauzel et Vuidel (2016) en France, qui ont réalisé une matrice de l'occupation du territoire (forêts, milieux humides, terres agricoles, zones habitées, réseau routier, etc.), puis des matrices de résistance au déplacement en se basant sur trois guildes d'espèces (petits, moyens et grands mammifères). Avec les résultats obtenus, ils réussissent à identifier différents corridors de déplacement, puis à déterminer quels corridors sont coupés par des routes. À très petite échelle, il est possible de déterminer quel est le meilleur lien.

Identifier des habitats ou zones de fréquentation de part et d'autre d'un tronçon routier demeure relativement simple. Toutefois, ce genre de méthodologie, projetée à échelle régionale, peut être beaucoup plus complexe à appliquer. À titre d'exemple, à petite échelle, une route peut empêcher une tortue de se rendre à son site de ponte, ou un orignal de se rendre à un marais salin, et ses zones sont faciles à identifier. À plus grande échelle, lorsque ce type de méthode est appliqué, il l'est généralement dans une optique de conservation d'un réseau d'habitats pertinents et d'amélioration de la connectivité (voir sous-section 3.2.1). (Gratton, 2014)

3.1.2 Indicateurs spatiaux

Une autre méthodologie, développée dans l'optique d'identifier des zones d'intervention prioritaire dans le but d'améliorer le déplacement de la faune de part et d'autre d'un tronçon routier, présente des étapes légèrement différentes (Salvant, 2017). Salvant (2017) a d'abord procédé à une revue de littérature, afin de bien connaître le territoire, mais également à une revue de différentes méthodes utilisées dans la théorie

pour positionner stratégiquement les passages fauniques. L'auteur a ensuite choisi de sélectionner cinq indicateurs spatiaux lui permettant de créer des matrices spécifiques à chacun d'eux. Les critères prioritaires sont les suivants et sont adaptés de Clevenger et al. (2010) : collisions véhicules-faune, accessibilité potentielle des infrastructures, connectivité régionale, risque potentiel de la route et pérennité des milieux naturels en place. Les matrices créées ont été analysées via une analyse multicritères et chacune d'elles a été pondérée selon différents scénarios. La sommation des matrices, ainsi que l'analyse des matrices individuellement ont permis d'identifier des zones spécifiques aux abords de l'autoroute 10 en Estrie. (Salvant, 2017) Il est intéressant de noter que les espèces ont été ciblées par guildes (comme présenté dans Gratton (2014)), et que les principales données utilisées sont celles concernant les milieux humides, les secteurs développés, les pistes de cerfs de Virginie et d'originaux, les matrices de résistance au déplacement de Corridor appalachien, les secteurs naturels et agricoles, ainsi que les données de mortalité routière (Salvant, 2017).

3.1.3 Identification des zones accidentogènes

Les zones à fortes probabilités de collisions sont utilisées relativement souvent comme références pour le positionnement des passages à petite échelle (Clevenger, 2012). Les données de collisions peuvent d'ailleurs être analysées de plusieurs façons. En effet, plusieurs outils statistiques permettent de mettre en évidence les zones possédant une plus ou moins grande agrégation de collisions routière (logiciel Siriema, par exemple), qui elles, peuvent ultimement être utilisées pour trouver des emplacements stratégiques pour passages fauniques (Salvant, 2017). Clevenger et Hardy (2006) suggèrent d'ailleurs que les données de collisions peuvent être utilisées pour localiser les zones d'une autoroute nécessitant une réfection ou modification des structures en place afin d'améliorer la sécurité routière et la connectivité entre les habitats.

Toutefois, certaines recherches ont montré que les endroits où les animaux vont traverser avec succès ne concordent pas nécessairement avec les zones de collisions. Ainsi, pour placer un passage sur un tronçon routier de la manière la plus précise possible, il peut être pertinent de jumeler les données d'accidents avec d'autres éléments. (Clevenger, 2012) Ces propos sont d'ailleurs appuyés par le chercheur Martin-Hugues Saint-Laurent qui avance que « les passages fauniques sont une stratégie efficace pour éviter les collisions, mais ils sont souvent utilisés de façon réactive et on installe les infrastructures là où les problèmes sont répertoriés. On ne tient pas assez compte des connaissances sur les déplacements de la faune et les analyses sont limitées. » (Bouchard, 2016)

Bien que l'utilisation des données de collisions ne soit peut-être pas précise pour localiser avec exactitude un passage lorsque les données sont utilisées seules, ces dernières semblent tout de même utilisées à des fins de vérification de l'efficacité d'aménagements fauniques. En effet, ces données, analysées d'une année

à l'autre, peuvent fournir une bonne idée de la réduction de la mortalité à la suite de l'installation d'aménagements fauniques. (Clevenger et al., 2003; Ford, Clevenger, Huijser et Dibb, 2011)

3.1.4 Modèle de connectivité

Comme mentionné précédemment, la localisation des passages est souvent dérivée de données de mortalité ou de données de fréquentation des abords de route. Ces données permettent généralement de trouver où se font les traversées entre les habitats. Toutefois, il existe d'autres méthodes qui permettent de créer un modèle d'habitats utile pour évaluer la fréquentation des abords de route. Ainsi, lorsque les données empiriques de fréquentation sont manquantes, ce qui est souvent le cas, on peut se baser sur des modèles d'habitats qui sont généralement développés à partir des connaissances d'experts ou sur des données biophysiques. (Clevenger, 2012) Ainsi, Clevenger, Wierzchowski, Chruszcz et Gunson (2002) ont développé des modèles en se basant sur ces différentes sources de données. Ces modèles utilisent un principe semblable à celui montré à la sous-section 3.1.1 pour trouver les habitats propices, mais les fondements statistiques sont légèrement différents. Ainsi, dans leur étude, trois modèles d'habitats pour l'ours noir ont été développés à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) afin d'identifier les liens se faisant au travers d'un tronçon routier majeur. Le premier modèle était basé sur des données d'habitats biophysiques alors que les deux autres étaient basés sur une analyse multicritères elle-même basée sur l'opinion et la littérature d'experts. Sur un fondement statistique, les modèles étaient en mesure de déterminer la probabilité d'occurrence de l'ours noir dans les habitats en périphérie de la route. Une fois le modèle d'habitat obtenu, il était possible de prédire les liens à partir de quatre classes de zone de connectivité développées à partir des habitats prédits et de l'occupation du territoire par l'humain. Ces classes étaient pondérées en fonction de deux éléments : la probabilité de traversée augmentait avec la qualité de l'habitat fragmenté par la route et la probabilité de traversée augmentait en zone propice au déplacement pour l'espèce ciblée. Ces modèles de connectivité ont été comparés à des données de mortalité et de traversées routières. Les auteurs ont d'ailleurs conclu que le modèle basé sur les données empiriques demeure toujours le plus fiable, mais que ceux basés sur les données provenant d'experts peuvent également donner un résultat satisfaisant en absence de données empiriques. (Clevenger et Wierzchowski, 2006; Clevenger et al., 2002)

3.1.5 Modèle statistique de déplacement

Afin de placer stratégiquement un passage le long d'un tronçon routier, Clevenger et Wierzchowski (2006) avancent qu'il est préférable de connaître le comportement des animaux et d'utiliser des modèles de déplacements. Le principe des modèles de déplacement se rapproche légèrement de la méthodologie d'identification des habitats et corridors présentés à la sous-section 3.1.1 puisqu'il tient compte généralement de données semblables. Toutefois, cette méthode possède généralement un aspect plus mathématique, et calcule toutes les voies possibles selon un degré de probabilité. Pour arriver à un modèle

de déplacement, des espèces précises doivent être ciblées. Comme cette étude avait lieu dans l'ouest du Canada, les espèces à grand domaine vital suivantes avaient été ciblées : l'ours noir, le grizzly, l'orignal et le wapiti. Une fois les espèces ciblées, le même principe que celui présenté à la sous-section des modèles de connectivité est utilisé pour créer un modèle d'habitats, avec des probabilités d'occurrence selon la qualité des paramètres biophysiques du territoire. Une fois ce modèle obtenu, il est possible d'obtenir le modèle de déplacement, qui lui prend en entrée le modèle d'habitat, et se fiera donc à la qualité d'habitat et à la perméabilité du territoire pour calculer les différentes voies possibles, individu-centré (probabilité qu'un individu emprunte une voie). Avec le modèle de déplacement, il est ensuite possible de trouver les zones où positionner les passages sur une zone prédéterminée (200 m dans le cas de cette étude) en calculant les endroits où le plus de voies de déplacement se croisent. (Clevenger et Wierzychowski, 2006)

L'équipe du professeur Martin-Hugues Saint-Laurent de l'Université du Québec à Rimouski est en train de développer une méthodologie de ce type, par la modélisation et validation de corridors fauniques dans le cadre de la construction de l'autoroute 85 au Bas-Saint-Laurent. Ce modèle sera basé sur les zones à haut risque d'accidents avec la grande faune ainsi que les habitats touchés par l'élargissement de l'autoroute. Afin de choisir les corridors ayant le plus de potentiel d'être utilisés, c'est la qualité de l'habitat qui sert à nourrir le modèle. (Bouchard, 2016)

3.1.6 Identification par opportunité

Les méthodologies présentées précédemment utilisent toutes des SIG et sont très pointues. Cependant, dans le contexte québécois, il n'est pas toujours possible de privilégier des méthodes complexes d'analyse cartographique ou géospatiale. Ainsi, comme il est décrit par Bédard et al. (2012a), dans un contexte de projet routier du MTQ, où les échéanciers sont serrés et où le contexte politique complexifie l'exercice, il est parfois nécessaire d'étudier les opportunités, c'est-à-dire les différents travaux à être réalisés, pour faire un choix quant à la disposition des passages fauniques. Ainsi, pour la mise en place des passages à petite faune sous la route 175 dans la réserve faunique des Laurentides, il a été choisi de se concentrer sur les cours d'eau, afin de tirer profit des ponceaux et ponts qui allaient être mis en place. Pour prioriser ces cours d'eau, on a tenu compte des habitats qui bordaient la route, de la topographie ainsi que de l'opinion d'experts pour faire les meilleurs choix. (Bédard et al., 2012a) Un principe semblable a été utilisé dans le projet de l'autoroute 73 (chapitre 1), où on a profité de cinq ponts passant au-dessus de rivières pour aménager des espaces permettant à la faune de circuler. Comme les rives de cours d'eau servent assez fréquemment à la faune comme corridors de déplacement (Cormier, Côté, Mercure, Cerruti et Minelli, 2012; Leclair et Blais, 2015) et que ces éléments avaient été confirmés par les inventaires menés avant les travaux, il allait de soi que les ponts représentaient d'excellentes opportunités de passages. (Vallée et al., 2019) Ces deux exemples

de projets permettent donc d'illustrer qu'un choix effectué par opportunité peut tout de même s'avérer un choix intéressant, particulièrement le long de cours d'eau.

3.2 Méthodologies appliquées à l'échelle régionale

En général, les éléments exposés à la section précédente n'utilisent pas des approches permettant d'obtenir une vision globale du territoire, mais ont plutôt comme finalité l'identification des emplacements précis où devraient être disposés les aménagements le long d'une route. Le contexte québécois au MTQ fait en sorte qu'au quotidien, il est préférable d'utiliser un niveau de précision inférieur et une échelle plus large, afin d'être en mesure de pouvoir vérifier, à l'échelle d'une région administrative, quels ouvrages, sur lesquels sont effectués des travaux, devraient être mis en priorité pour l'aménagement de passages. La présente section expose donc deux grandes catégories de méthodologies qui permettent de cibler des zones globales où favoriser la mise en place de passages fauniques à échelle régionale.

3.2.1 Noyaux de conservation et corridors écologiques traversés par des routes

La première méthodologie ayant été trouvée dans la littérature pour faire ressortir des zones d'intérêt à échelle régionale s'apparente à celle présentée à la sous-section 3.1.1. Elle consiste en la superposition des routes à un réseau de corridors écologiques et noyaux de conservation (Clevenger et Huijser, 2011). Ainsi, plutôt que de relever les endroits précis où la faune sera susceptible de traverser le long de tronçons routiers, on s'intéresse à une échelle d'habitat plus large. Avec l'application de cette méthode, on se trouve plutôt en mesure d'identifier des habitats ou des corridors de déplacement d'importance qui sont traversés par des routes (Clevenger et Huijser, 2011). Il est ensuite facile d'évaluer si une structure se trouve dans cette zone.

L'étape principale pour arriver au résultat souhaité par cette méthodologie consiste à identifier le réseau d'habitats et de corridors écologiques qui sera superposé au réseau routier. Bien que le détail de la démarche pour y arriver n'était pas présenté dans Clevenger et Huijser (2011), plusieurs autres rapports de projets rencontrés dans la littérature exposent le processus de sélection des données et des analyses, et dont l'objectif principal portait sur l'identification de noyaux de conservation, d'habitats à conserver ou des corridors naturels de déplacement dans une optique de conservation. Ainsi, bien que l'objectif rattaché aux projets présentés ci-dessous n'est pas nécessairement relié au réseau routier, ces derniers permettent de relever, entre autres, un éventail d'analyses pouvant servir à traiter les données géospatiales dans le but d'identifier un réseau écologique.

Généralement, pour les noyaux de conservation à échelle régionale, on recherche des couverts naturels adéquats selon les objectifs, c'est-à-dire des aires ayant une taille suffisante et une qualité leur permettant de servir d'habitats sources pour une diversité d'espèces ou pour les espèces ciblées (Leclair et Blais, 2015).

Cette identification peut être réalisée de plusieurs façons. Voici donc une revue des différentes méthodes utilisées pour arriver à cet objectif.

Les habitats peuvent être identifiés visuellement, en effectuant des traitements simples avec des données ciblées, et en se basant sur des critères définis par ce qui est trouvé dans la littérature (Blais, 2018; Leclair et Blais, 2015). C'est ce qui a été réalisé par Leclair et Blais (2015), qui ont identifié visuellement des noyaux de conservation en se basant sur les milieux humides prioritaires, les massifs forestiers de plus de 100 ha, les écosystèmes forestiers exceptionnels, les occurrences d'espèces à statut et les aires protégées, entre autres. Il est important de noter que ces choix ont été basés sur des espèces focales, qui elles, avaient été choisies en fonction des objectifs de l'étude qui, ici, étaient l'identification de corridors naturels dans le but de rétablir la connectivité d'un bassin versant du Centre-du-Québec. Les habitats identifiés étaient donc les noyaux de base, à relier par la suite. Cette analyse visuelle peut donc se baser sur la conservation d'habitats en fonction des critères qui peuvent découler des espèces sélectionnées, ou même de principes écologiques, comme leur capacité à maintenir une certaine biodiversité. (Leclair et Blais, 2015) À titre d'exemple, il est possible de choisir des massifs forestiers aussi petits que 40 ha puisqu'ils peuvent contribuer à maintenir un minimum de biodiversité sur un territoire. On peut également choisir de maintenir des complexes de milieux humides, c'est-à-dire des zones composées d'un ou plusieurs types de milieux humides, d'un hectare s'ils permettent de maintenir la biodiversité visée par les objectifs. (Coulombe et Nadeau, 2013) Encore une fois, les éléments conservés varient selon les objectifs et se basent sur la littérature.

Cormier et al. (2012) ont procédé à l'identification d'habitats à conserver avec une technique semblable à celle énumérée plus haut, et dans un objectif similaire à celui présenté au paragraphe précédent. En effet, c'est par une analyse visuelle de différentes couches de données géographiques (topographie, cartes écoforestières, indice de qualité de bandes riveraines, etc.) que les noyaux ont été ciblés. Ici aussi, il est important de noter que les choix effectués sont toujours en lien avec les objectifs. En effet, l'étude de Cormier et al. (2012) avait lieu en Montérégie, dans un paysage très fragmenté, et avait comme objectif de rétablir la connectivité dans cet environnement. Les espèces focales étaient donc des espèces indicatrices, sensibles à la fragmentation, et les données conservées concernaient divers habitats permettant d'assurer la conservation de ces espèces. De plus, l'identification visuelle dans ce genre de contexte est relativement facile puisque ces milieux sont très anthropiques. (Cormier et al., 2012)

D'autres types d'analyse peuvent également être utilisés pour sélectionner les noyaux d'un réseau écologique, comme l'analyse multicritères (poids relatifs de différents critères en fonction d'une espèce, par exemple), l'analyse de représentativité (dans le but de représenter tous les types d'habitats d'un territoire, par exemple), l'analyse par maille ou l'analyse d'indice de qualité de l'habitat (IQH) (Blais, 2018). L'IQH,

spécifiquement, nécessite généralement de cibler des espèces de façon très précise. En effet, comme l'indice est un modèle mathématique basé sur différents critères, jugés d'importance, et que les préférences d'habitats varient énormément d'une espèce à l'autre, les modèles sont généralement propres à chaque espèce pour obtenir le plus de précision possible. (Cheveau et Dussault, 2013)

Le rapport de Gratton (2010), qui a d'ailleurs influencé la méthodologie de Cormier et al. (2012) présente une technique très détaillée pour la création de réseau de conservation et de protection de la connectivité, inspirée de Gérardin et McKenney (2001) et Groves (2003). Il s'agit en fait du concept du filtre grossier et du filtre fin. Le filtre grossier vise à faire ressortir les milieux les plus fréquents et les espèces les plus communes en identification des écosystèmes représentatifs de cette biodiversité. Ainsi, selon différents des critères de pérennité, par exemple, on sélectionne des milieux naturels de base, comme les massifs forestiers et les milieux humides. Comme il s'agit d'un contexte de conservation, ces démarches sont toujours imprégnées de l'idée de représentativité (Blais, 2018). L'analyse du filtre fin permet ensuite de sélectionner, par le biais de différentes sources d'information, les espèces et les milieux naturels qui ne pourraient être représentés autrement dans le plan de conservation. Ainsi, des éléments plus précis, comme les occurrences d'espèces à statut ou les milieux rares et de plus petite taille seront captés. (Gratton, 2010)

Une échelle intéressante, schématisée par l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées du Bas-Saint-Laurent (Coulombe et Nadeau, 2013), montre les caractéristiques généralement captées par le filtre grossier et le filtre fin. À titre d'exemple, le filtre grossier permet de capturer une diversité d'écosystèmes qui constituent les habitats utilisés par une diversité d'espèces. À ce niveau, on cible donc des éléments comme des mosaïques forestières, des massifs forestiers non fragmentés, des habitats fauniques (aires de confinement du cerf de Virginie, etc.), des complexes de milieux humides, des espèces à besoins multiples (cerfs, orignaux, etc.) et des espèces fréquentant des habitats d'intérieur (martre d'Amérique, tétras du Canada). Ce filtre permet d'obtenir un bon portrait de la biodiversité générale d'une région, qui peut être particulièrement utile dans un contexte de conservation. Par la suite, le filtre fin, qui capte des éléments à plus petite échelle, permet de se pencher sur les écosystèmes forestiers exceptionnels (EFE), les habitats fauniques plus petits, les peuplements forestiers et les petits complexes de milieux humides, les espèces à petit domaine vital (amphibiens, par exemple) et les occurrences d'espèces à statut. (Coulombe et Nadeau, 2013) Encore ici, les traitements effectués avec les différentes couches de données (tailles des milieux forestiers et humides) dépendent de la littérature et des objectifs encourus. À la suite de la sélection par filtre grossier et filtre fin, les auteurs procèdent ensuite à une analyse par mailles, afin de cibler, par la valeur écologique, les points chauds de biodiversité. (Coulombe et Nadeau, 2013)

Concernant l'identification des corridors écologiques qui relient ces habitats, cette analyse peut être réalisée à l'aide de plusieurs logiciels, et les données de base servent à construire les matrices de résistance au

déplacement, en utilisant un principe semblable à celui présenté à la sous-section 3.1.1, mais en utilisant des données plus globales. Ces matrices sont généralement montées à partir d'espèces focales, et une matrice d'occupation du territoire peut être construite à partir de divers critères, comme les milieux humides, le milieu agricole, les autoroutes et bretelles (zone tampon) ou l'hydrographie. L'analyse multicritères permet d'attribuer des cotes pour les différentes occupations du territoire en se basant sur les préférences des espèces ciblées (espèces semi-aquatiques, oiseaux forestiers, etc.). (Leclair et Blais, 2015) Il est également possible de faire une analyse plus générale et d'identifier les corridors de manière visuelle. (Blais, 2018; Cormier et al., 2012) C'est ce qu'avaient réalisé Cormier et al. (2012) à la suite de l'identification de leurs noyaux de conservation en Montérégie. Le choix des corridors peut être optimisé de plusieurs façons, comme en considérant l'unicité, la valeur écologique et le potentiel de gestion (tenure des terres, affectation du territoire, initiative de protection, etc.) (Blais, 2018; Cormier et al., 2012).

3.2.2 Modèles de déplacement à échelle régionale

La seconde méthode ayant été relevée dans la littérature pour l'identification de zones pertinentes pour la mise en place de passages fauniques ressemble à celles présentées aux sous-sections 3.1.1 et 3.2.1 dans la mesure où on s'intéresse à des corridors de déplacement de la faune. La technique utilisée dans l'étude présentée ci-dessous est plus axée sur la probabilité d'occurrence de la faune, et ne se base pas uniquement sur le type ou la qualité générale d'un habitat.

Ainsi, le modèle développé à échelle régionale par Clevenger et Wierzchowski (2006) utilise la même démarche que celle présentée à la sous-section 3.1.5. Les espèces ciblées étaient toujours l'ours noir, le grizzly, l'orignal et le wapiti. La différence avec le modèle à échelle locale est que les données utilisées sont plus générales (ne comprennent pas des données spécifiques comme la distribution du son, la densité de la végétation, le type de végétation, etc.), et n'utilisent pas une zone tampon de 200 m pour l'autoroute. Les intersections obtenues lors de l'étude donnaient généralement des grandes sections d'autoroutes, ce qui ne permet pas de recommander l'emplacement exact pour un passage. Toutefois, cela demeure intéressant dans l'optique où des tronçons sont ciblés, ce qui permet d'évaluer en cas de travaux, si les structures se situent dans des zones d'intérêt ou non. Toutefois, dans une optique où une meilleure précision était souhaitée, le modèle avait été ajusté à 1 km de zone tampon. (Clevenger et Wierzchowski, 2006)

Les auteurs rappellent toutefois que les modèles de déplacement sont basés sur des statistiques, et que les résultats obtenus par ces modèles concordent généralement avec les données empiriques (occurrences, données de collisions). Ainsi, si ces données empiriques sont disponibles, il n'est généralement pas nécessaire d'utiliser des méthodes très complexes puisque les données concrètes d'occurrence parlent d'elles-mêmes. (Clevenger et Wierzchowski, 2006)

4. MÉTHODOLOGIE POUR L'OBTENTION DE L'OUTIL CARTOGRAPHIQUE

Pour arriver à construire les différentes cartes menant à la réussite des objectifs (outil cartographique), une méthodologie se doit d'être développée. Cette dernière comporte différentes étapes à réaliser pour clarifier le choix des données, les thèmes des cartes, etc. L'une de ces étapes, qui est d'ailleurs cruciale, peut constituer un défi important, et consiste à choisir le ou les types d'analyse qui seront utilisés pour traiter les données en fonction des limites de chaque DGT. Afin de faciliter cette étape, la première section de ce chapitre se penchera sur un tri et une priorisation des différentes analyses de données géospatiales présentées au chapitre 3 afin d'identifier celles à cibler pour le MTQ. La deuxième section expose, quant à elle, le détail des étapes à suivre pour obtenir un outil cartographique adapté pour chaque DGT.

4.1 Priorisation des méthodes d'analyse pertinentes

Les éléments présentés au chapitre 3 montrent, de façon globale, les différents analyses ou éléments qui pourraient être considérés pour le présent essai. La présente section expose le processus qui a été suivi afin d'effectuer une priorisation des méthodes jugées pertinentes pour atteindre l'objectif du présent rapport en fonction des enjeux généraux du MTQ.

4.1.1 Types d'analyse cartographique ou géospatiale à considérer

Il va de soi que le contenu des méthodologies présentées à la section 3.2 se doit d'être considéré étant donné que les analyses qu'elles utilisent sont adaptées à l'échelle du présent essai. Ainsi, comme il fut présenté au chapitre 1, les routes bordées d'un couvert végétal présentent généralement de plus forts taux de collisions avec la faune (Clevenger et al., 2003). Il apparaît ainsi logique de suivre le principe présenté par Clevenger et Huijser (2011) en ciblant des habitats et/ou corridors de déplacement traversés par des routes, comme présenté à la sous-section 3.2.1. Bien que ce concept vise un réseau écologique entier, il pourrait, en effet, être décidé, selon les objectifs encourus par une DGT, de cibler seulement des habitats d'importance traversés par des routes (par exemple, les ravages du cerf de Virginie traversés par des routes). Ainsi, comme montré à la sous-section 3.2.1, à échelle régionale, plusieurs analyses cartographiques ou géospatiales permettent, distinctement, de cibler des habitats d'intérêt ou des corridors écologiques. Cette sélection, qui variera selon les objectifs spécifiques, peut se faire par analyse visuelle suite à un traitement de base des données spatiales, par priorisation à l'aide de l'IQH, par une analyse multicritères, par une analyse par mailles ou par une analyse par filtre grossier et filtre fin. En superposant ces résultats au réseau routier, il devient possible de cibler des zones d'intérêts plutôt globales selon les objectifs ou critères définis (Clevenger et Huijser, 2011). Différentes analyses permettent également de déterminer si des corridors écologiques sont traversés par des routes (sous-section 3.2.1). En effet, en utilisant les principes des matrices de résistance au mouvement, il devient possible de déterminer quels sont les corridors préférentiels entre les

habitats préalablement identifiés. Les corridors peuvent également être identifiés visuellement si le territoire le permet. Encore une fois, en superposant ces résultats au réseau routier, des zones d'intérêt peuvent être mises en évidence. (Blais, 2018; Cormier et al., 2012; Gratton, 2010; Leclair et Blais, 2015)

La seconde méthodologie présentée à la sous-section 3.2.2, développée spécifiquement pour localiser des emplacements pour des aménagements fauniques à échelle régionale, se doit d'être prise en compte. En effet, elle permet, par un modèle statistique de déplacement, de cibler de façon encore plus précise, les zones naturelles utilisées par la faune pour se déplacer qui sont entrecoupées par des routes. (Clevenger et Wierzchowski, 2006)

Outre les types d'analyse présentés à la section 3.2, certains, appliqués à échelle locale, pourraient être projetés à échelle régionale. En effet, cela est le cas des zones à forte densité d'accidents, qui semblent de bons indicateurs de présence faunique, comme présenté à la sous-section 3.1.3. Bien qu'elles ne soient pas idéales pour prédire l'emplacement de passages fauniques à échelle d'un tronçon routier (Clevenger, 2012; Clevenger et Hardy, 2006), il semblerait logique de s'en servir à échelle régionale, en utilisant le principe présenté à la sous-section 3.2.2 (Clevenger et Wierzchowski, 2006; Hébert et al., 2013). En effet, une analyse de densité de collisions à plus large échelle pourrait simplement permettre d'obtenir une zone moins précise et plus large, ce qui pourrait être pertinent dans le présent contexte.

En ce qui concerne les autres types d'analyse de données géographiques et géospatiales présentés à la section 3.1 comme les modèles statistiques de déplacement ou de connectivité et l'analyse par indicateurs spatiaux, elles sont très spécifiques et plus difficilement projetables à l'échelle d'analyse du présent essai. Toutefois, la plupart peuvent être pertinentes à garder en tête pour une analyse de précision dans le cas d'un projet majeur permettant d'effectuer une analyse à l'échelle d'un tronçon routier ou comme source d'information pour les autres étapes de la méthodologie à développer dans le cadre du présent essai.

Ainsi, concernant les différentes analyses retenues, il a été choisi de les classer en quatre grandes catégories en fonction des résultats qu'elles permettent d'obtenir. Cette classification rendra la consultation des résultats de priorisation (sous-section 4.1.2) plus facile. Les différentes techniques d'analyse de données géospatiales retenues sont donc énumérées au tableau 4.1, sous les catégories suivantes :

- 1- Analyse permettant d'identifier des habitats d'importance traversés par des routes à échelle régionale.
- 2- Analyse permettant d'identifier des corridors écologiques potentiels traversés par des routes à échelle régionale.
- 3- Analyse permettant d'obtenir des modèles de déplacement de la faune à échelle régionale.
- 4- Analyse permettant d'identifier des zones accidentogènes à échelle régionale.

4.1.2 Priorisation des analyses pertinentes pour le MTQ

Il est possible de déduire, en se basant sur les descriptions présentées au chapitre 3, que les différents types d'analyse relevés à la sous-section 4.1.1 mènent à des résultats différents à plusieurs niveaux. D'une part, les analyses statistiques ou utilisant des données d'occurrence n'auront pas le même niveau de précision qu'une analyse visuelle. D'autre part, les différents types d'analyse ne comportent pas le même niveau de difficulté de réalisation. De plus, en fonction des objectifs encourus, les données disponibles ou les données qui sont utilisées peuvent donner un éventail de résultats (selon le choix des espèces, par exemple). Il est ainsi possible de constater qu'en partant de toutes les possibilités présentées dans la littérature, il peut être difficile de s'y retrouver, d'où l'intérêt de la méthodologie qui sera présentée à la section 4.2. Toutefois, avant de passer à un processus personnalisé, il est possible de faire un premier tri de techniques d'analyse en se basant sur des enjeux (voir chapitre 1 et 2) qui sont communs à toutes les DGT.

Ainsi, il a été déterminé que, parmi les enjeux listés au chapitre 2, certains pouvaient influencer le choix de l'analyse à préconiser pour cibler des zones d'intérêts pour la mise en place d'aménagement faunique au Québec, par le MTQ. Ces enjeux consistent principalement en deux éléments principaux :

- Ressources temporelles limitées pour la réalisation d'analyses
- Outils disponibles limités pour les analyses

Le temps pouvant être alloué aux analyses constitue une limite pour les experts du MTQ étant donné que tous sont déjà responsables de nombreux mandats. Également, mis à part pour des professionnels de la géomatique, il peut être complexe de réaliser des analyses spatiales poussées, particulièrement dans un contexte où le temps est limité. (DGCA, conversations, 2017-2018) D'ailleurs, comme l'outil du présent essai se veut facile à produire, il peut être intéressant de se limiter à des analyses plus simples. Cela permet également de vérifier s'il est possible d'arriver à des résultats pertinents avec des connaissances en géomatique de base.

L'accessibilité aux outils guide également le choix de l'analyse, puisqu'il peut constituer une limite importante. En effet, il est important de tenir compte du fait que les outils nécessaires pour certains types d'analyse sont peu accessibles. À titre d'exemple, les extensions « Spatial analyst » du logiciel ArcGIS (ESRI, s. d.) sont souvent peu accessibles puisque très dispendieuses. Certaines extensions semblables peuvent être disponibles sur d'autres logiciels. Cependant, il peut être difficile d'analyser les données sur plusieurs logiciels différents, particulièrement dans une situation où les connaissances en géomatique sont limitées. (DGCA, conversations, 2017-2018)

Afin de départager plus clairement et de pouvoir classer en ordre de pertinence les types d'analyse énumérés à la sous-section 4.1.1, une cote a été accordée à chacune d'elles en se basant sur les deux enjeux énumérés

plus tôt. Ainsi, comme le montre le tableau 4.1, une cote entre -1 et 1 a été accordée à chacun des enjeux.

Voici la définition des cotes :

-1 = l'analyse peut représenter un obstacle pour cet enjeu.

0 = l'analyse n'est pas un obstacle, mais n'est pas optimale pour cet enjeu.

1 = l'analyse est optimale pour l'enjeu.

Ainsi, la priorisation se base sur ces cotes. Il a été déterminé que si un type d'analyse possède une cote négative, il sera systématiquement éliminé puisque cela signifie qu'il n'est optimal pour aucun des deux enjeux. Les analyses à privilégier seront celles avec une cote positive de 2 (vert dans le tableau 4.1). Les autres pourront être conservées en réserve (jaune dans le tableau 4.1).

Tableau 4.1 Évaluation des types d'analyse de données géospatiales en fonction des limites temporelles et informatiques du MTQ

Méthodes d'analyses	Ressources temporelles	Disponibilité des ressources informatiques	Total
1. Habitats d'intérêt traversés par des routes			
1.1 Identification visuelle	1	1	2
1.2 Filtre grossier et filtre fin	1	0	1
1.3 IQH	-1	0	-1
1.4 Analyse multicritères	-1	-1	-2
1.5 Analyse par mailles	-1	-1	-2
1.6 Analyse de représentativité	-1	0	-1
2. Corridors écologiques			
2.1 Identification visuelle	1	1	2
2.1 Matrice de résistance au déplacement (moindre-coût)	-1	-1	-2
3. Modèle de déplacement	-1	-1	-2
4. Densité de collisions	1	1	2

Il a été déterminé, d'une part, sur la base de ce que l'auteure du présent essai avait observé à la DCGA lorsqu'elle y travaillait, que la plupart des techniques présentées au tableau 4.1, comme les analyses par matrices de résistance ou les modèles statistiques de déplacement, demandent des outils SIG et des connaissances trop avancées en géomatique ainsi que beaucoup plus de temps que les experts en environnement sont en mesure de dédier à ce type de travaux. Cela fait donc en sorte qu'elles ne seraient pas réalisables compte tenu du présent contexte. La méthode visuelle pour l'identification d'habitats ou de corridors écologiques est celle qui a été retenue en priorité. D'autre part, le tableau fait également ressortir que le traitement de données empiriques (analyse des collisions) serait pertinent et facilement réalisable, si les données sont disponibles. Les analyses de filtre grossier et filtre fin ont obtenu, quant à elles, un pointage moyen. Il peut donc être intéressant de garder en tête ces analyses, d'autant plus qu'elles peuvent s'appliquer convenablement à l'échelle sélectionnée pour le présent projet.

4.2 Processus méthodologique complet

Avec, en main, les types d'analyse à préconiser pour les experts en environnement des DGT, il est maintenant possible de décrire, au long, la méthodologie suggérée pour préciser, entre autres, le choix final d'analyse à effectuer, et ce afin d'obtenir des résultats adaptés à chaque DGT. Avant de débiter, il est important de noter que la méthodologie présentée a été obtenue à la suite d'une démarche d'expérimentations, qui a été basée sur les enjeux et portrait du MTQ, la littérature et des tests sur le logiciel ArcGIS (10.5.1) (basés sur l'étude de cas). Ce qui suit représente en fait la méthodologie structurée la plus efficace et la plus globale (pouvant s'adapter aux différentes DGT) pour arriver à l'outil désiré.

La plupart des projets présentés dans la littérature possèdent les mêmes étapes clés, soit la définition des objectifs, l'identification de l'aire d'étude, la récolte des données et l'analyse des données (par exemple, identification des noyaux de conservation et des corridors de moindre coût). Certains projets vont même inclure des étapes de validation terrain, lorsque l'occurrence d'espèces doit être validée, par exemple. Finalement, certains partagent les étapes cruciales de mise en œuvre, comme dans le cas d'un projet de connectivité, ou plusieurs acteurs doivent être considérés. (Blais, 2018; Leclair et Blais, 2015) Le reste des éléments varient selon les objectifs encourus.

En se basant sur ces éléments ainsi que sur les réflexions survenues lors de la réalisation de l'étude de cas, la première étape suggérée consiste en la mise en place d'objectifs spécifiques au type de zones à cibler. Ces derniers seront primordiaux et permettront d'avoir une idée précise de ce que les analyses visent, c'est-à-dire du résultat ou de l'information que l'on souhaite en tirer, afin de pouvoir guider le choix des données, ainsi que d'orienter le choix final de technique d'analyse. La façon suggérée pour y arriver est d'abord de dresser un portrait du territoire à l'étude (Robert, 2014), afin d'y relever les enjeux, comme les intérêts fauniques ou floristiques, l'occupation et la gestion du territoire, etc. La seconde étape consiste à relever les

enjeux de la DGT pour laquelle l'outil est mis en place. Bien que certains enjeux soient communs à toutes les DGT, comme la sécurité des usagers de la route (MTQ, 2018a), il se pourrait que d'autres enjeux soient plus spécifiques à une région ou ressortent d'une volonté particulière des experts d'une région (par exemple, peu d'accidents avec les cervidés, mais beaucoup d'espèces à statut à considérer ou vice versa) (Hébert et al., 2013). Ces enjeux peuvent être relevés grâce à une réunion de remue-méninges, qui permettrait de mettre en lumière les éléments sur lesquels l'équipe désire mettre l'accent.

Une fois l'ensemble des enjeux listés, il est ensuite important que l'équipe se réunisse pour faire ressortir les objectifs spécifiques qui guideront les prises de décisions subséquentes, et plus spécifiquement le type d'analyse à favoriser. Les objectifs spécifiques doivent pouvoir mener à un résultat précis. Afin de guider le choix des objectifs spécifiques, voici des exemples de questions auxquelles il faudrait que les objectifs spécifiques permettent de répondre :

- Vise-t-on davantage à assurer la connectivité sur le territoire ou plutôt à réduire la mortalité ponctuellement?
- Souhaite-t-on protéger plusieurs espèces ou seulement les espèces problématiques pour la sécurité routière des usagers?

Les objectifs spécifiques devraient être en mesure d'aider à préciser le choix exact d'analyse à préconiser ainsi que les données à utiliser. Il serait suggéré, afin d'arrêter le choix final d'analyse, de consulter les différentes données disponibles. L'outil IGO, présenté au chapitre 1, permet de visualiser un grand nombre de données de sources variées. À titre d'exemple, il permet de visualiser les catégories de couches suivantes :

- Écoroutes d'hiver
- Inventaire des infrastructures de transport (routes, ponceaux, ponts)
- Limites administratives (municipalités, MRC, etc.)
- Aménagement du territoire (zone agricole, usage prédominant, tenure des terres, etc.)
- Environnement (aires protégées, cadre écologique de référence, couches écoforestières, courbe de niveau, habitats floristiques désignés, hydrologie linéaire, hydrographie de surface, zones inondables, milieux humides, pédologie, système hiérarchique de classification écologique, territoires fauniques structurés, etc.)

Toutefois, comme ce ne sont pas toutes les couches qui sont disponibles pour téléchargement dans le géocatalogue du Ministère, il est important de vérifier les couches auxquelles il est facile d'avoir accès. En plus de ces couches, les DGT ont accès à des données de collisions et de carcasses qui peuvent être transformées en couches de données géospatiales, et qui peuvent être très utiles, tout dépendant les enjeux de la DGT. Une fois la majorité des couches téléchargées, ces dernières permettent d'obtenir une vision

globale du territoire. Ainsi, si des données disponibles permettent d'éviter d'utiliser une technique plus complexe, ou si des informations manquent pour arriver aux objectifs avec une certaine méthode, il sera possible d'éliminer certaines possibilités, afin d'arriver à choisir la série d'analyses à réaliser. En effet, il peut être intéressant de visualiser les données, afin d'obtenir une vision du territoire. Cela pourrait permettre de faire un choix de méthodologie plus générale et plus simple si les données sont visuellement parlantes.

Une fois toutes ces étapes réalisées, l'étape suivante est de détailler la démarche géomatique qui devra être réalisée sous la forme d'un plan d'analyse afin de structurer et faciliter le processus d'analyse des données à réaliser sur le logiciel d'analyse spatiale disponible. Pour ce faire, il est important de se référer aux objectifs spécifiques. En effet, comme ces derniers devraient être suffisamment détaillés pour tenir compte des enjeux prioritaires, il est possible, pour chacun d'eux, d'arrêter le choix sur la technique d'analyse à préconiser (analyse visuelle des habitats et/ou des corridors écologiques, analyse de densité d'accidents et/ou analyse par filtre grossier et filtre fin), de choisir les espèces à cibler, si nécessaire, d'établir l'ensemble des données nécessaires et de lister les traitements à effectuer (couches à afficher, sélections par attributs pour certaines couches) pour rendre l'analyse possible.

Il est important de garder en tête que cette méthodologie se veut évolutive et en partie basée sur les essais-erreurs. Les étapes présentées précédemment se veulent un guide général pour mieux diriger et structurer les choix qui doivent être faits, étant donné que de nombreux éléments peuvent possiblement être pris en compte et qu'il peut être facile de s'y perdre, particulièrement lorsque ce genre de projet est réalisé par une personne n'ayant pas une formation de base en géomatique. L'étude de cas constituera également une forme plus précise de méthodologie pouvant être suivie. En effet, les choix d'analyse et les choix quant à la manière de les réaliser pourront servir de modèles si d'autres DGT choisissent d'aller dans une direction semblable à celle sélectionnée pour la DGCA. La section 5.5 constitue donc le processus d'analyse à suivre. Si une DGT décide d'aller dans une direction différente pour l'analyse des données, il serait suggéré de se référer au chapitre 3, afin de valider qu'elles sont les étapes à suivre pour chaque méthode.

Voici donc un résumé des étapes à réaliser :

- 1- Relever les enjeux du territoire liés à l'environnement, à l'occupation et la gestion du territoire, etc.
- 2- Relever les enjeux de la DGT (administratifs, principalement).
- 3- Sélectionner les enjeux prioritaires pour arriver à définir des objectifs spécifiques.
- 4- Faire un inventaire des données disponibles.
- 5- Visualiser le territoire.
- 6- Afin de structurer le travail fait sur un logiciel d'analyse spatiale, lister les choix finaux (espèces, données, analyse, etc.) sous la forme d'un plan d'analyse en tenant compte des objectifs, des données disponibles et des techniques d'analyse présélectionnées pour le MTQ.
- 7- Appliquer le plan afin d'obtenir l'outil cartographique, puis effectuer des essais-erreurs et des ajustements au besoin.

5. ÉTUDE DE CAS : APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE

La présente section expose l'application de la méthodologie présentée au chapitre 4. Dans un premier temps, les enjeux du territoire de la Chaudière-Appalaches ainsi que de la DGCA y sont relevés. Dans un deuxième temps, les choix méthodologiques sont précisés et le plan d'analyse exposé.

5.1 Portrait et enjeux du territoire à l'étude

Afin de définir des objectifs clairs et efficaces, le territoire dans lequel s'inscrit la démarche se doit d'être considéré, afin d'y relever les enjeux. Cette section se veut donc une revue des particularités de la région pouvant guider les futurs choix méthodologiques.

5.1.1 Portrait environnemental : éléments physiques

La région de la Chaudière-Appalaches, qui couvre 16 127 km², fait partie de deux provinces naturelles terrestres, soit les basses-terres du Saint-Laurent et les Appalaches (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC], 2018a). Environ 80% de la superficie terrestre du territoire se situe dans la province des Appalaches. Outre cela, la superficie totale de la Chaudière-Appalaches est également constituée, pour une certaine portion, du fleuve Saint-Laurent, ainsi que l'archipel de L'Isle-aux-grues. Seul l'extrême ouest de la Chaudière-Appalaches, soit la municipalité régionale de comté (MRC) de Lotbinière, fait partie de la plate-forme du Saint-Laurent. (MDDELCC, 2018a; Ministère des Ressources naturelles et de la Faune [MRNF], 2010)

La partie du territoire faisant partie de la province géologique des basses terres du Saint-Laurent est principalement caractérisée par un relief plat et une altitude basse (au plus 150 m). La composition des sous-sols de cette province géologique et la variation de l'épaisseur des dépôts argileux ont mené à la création de nombreuses tourbières. C'est également la richesse des sols de ces terres qui ont influencé l'occupation du territoire dans cette portion de la Chaudière-Appalaches. (MRNF, 2010)

La province naturelle des Appalaches, dont fait partie la majorité du territoire de la région, se caractérise d'abord par la présence du piedmont, c'est-à-dire un relief variant de 150 à 400 m. Les podzols du piedmont font de cette portion de la Chaudière-Appalaches une zone propice à l'agroforesterie. Toutefois, comme le fond est relativement pierreux, cela rend une bonne partie du territoire plus adaptée à l'acériculture. Il faut noter que les anciens dépôts fluviaux qui longent la rivière Chaudière font de cette portion du territoire un noyau pour l'agriculture, ce qui explique l'occupation du territoire à ses abords. Le relief ainsi que les crêtes rocheuses qui caractérisent cette partie de territoire sont propices à la création de tourbières ombrotrophes. (MRNF, 2010) Le plateau appalachien et les monts Notre-Dame, qui constituent l'autre portion de la province géologique des Appalaches, forment une région au relief plus important que le piedmont, et ont une composition géologique propice à l'extraction de pierres, métaux et minéraux. Le sommet de cette

région est constitué du Massif du Sud. Les massifs forestiers des Appalaches, notamment ceux de haute altitude, sont d'une importance particulière pour les oiseaux typiques des forêts anciennes. D'ailleurs, une importante colonie de grive de Bicknell se trouve au sommet du Massif du Sud. Finalement, il est intéressant de noter que, de façon générale, les podzols et les sols bien drainés des Appalaches font en sorte que 75% de cette portion du territoire est soumise à de l'exploitation forestière. (MRFN, 2010)

La surface du territoire de la Chaudière-Appalaches qui est sillonné par des eaux douces ne représente que 1% de la région. On y compte environ 4600 km de cours d'eau et 3300 cours d'eau répertoriés. Les trois rivières principales, toutes tributaires du fleuve Saint-Laurent, sont les rivières Chaudière, Etchemin et du Sud. C'est le fleuve Saint-Laurent qui draine la majorité du territoire, soit 76%, alors que le reste du territoire s'écoule plutôt vers le fleuve Saint-Jean. (MDDELCC, 2018b; MRNF, 2010)

D'autres parts, les précipitations et les températures élevées de la région font en sorte que la saison de croissance est longue (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation [MAPAQ], 2017). Le territoire de la Chaudière-Appalaches est également grandement influencé par le gradient topographique, qui lui, crée un certain gradient climatique. Les températures sont beaucoup plus basses et les précipitations de neige beaucoup plus importantes dans l'est et dans les régions montagneuses. Ces gradients ont d'ailleurs une influence sur la distribution de la faune, comme le cerf de Virginie. (MRNF, 2010)

5.1.2 Portrait environnemental : éléments biologiques

La région de la Chaudière-Appalaches est caractérisée par trois domaines bioclimatiques, soit l'érablière à tilleul, l'érablière à bouleau jaune et la sapinière à bouleau jaune. Le principal domaine est celui de l'érablière à bouleau jaune, qui est constitué d'érablières à érable à sucre et de forêts de résineux. (MRNF, 2010) D'ailleurs, 75% du territoire, soit 11 302 km², se trouve en zone forestière. La majorité des peuplements des terres de l'État sont composés de résineux, alors que les forêts privées sont davantage composées de feuillus. L'âge moyen des peuplements de la Chaudière-Appalaches est d'environ 50 ans. En terres privées, on retrouve beaucoup de peuplements ayant cet âge, mais peu de vieilles forêts (plus de 80 ans), alors que ces dernières, en terres publiques, sont représentées à plus de 40%. (MRNF, 2010)

Les milieux humides de la région couvrent environ 472 km², soit 2,9% du territoire, et sont généralement très petits et situés en terres privées. Ils comptent plus de 70% des espèces floristiques à statut présentes en Chaudière-Appalaches. (MRNF, 2010) Sur l'ensemble des milieux humides de la région, 59% sont des tourbières, et se situent principalement dans les plaines du Saint-Laurent. Sur le plateau appalachien, on retrouve davantage des marécages arborés qui constituent 22% des milieux humides du territoire. Finalement, les berges du fleuve et l'archipel de L'Isle-aux-Grues sont constitués de marais d'eau douce et saumâtre. D'ailleurs, ces derniers sont le refuge de plus de 200 espèces d'oiseaux. (MRNF, 2010)

Concernant la biodiversité faunique de la Chaudière-Appalaches, celle-ci est relativement importante, en raison notamment, de son climat tempéré. En effet, on retrouve une cinquantaine de mammifères, plus de 275 espèces d'oiseaux, 17 espèces d'amphibiens et neuf espèces de reptiles. Parmi ces espèces, sept mammifères, 12 espèces d'oiseaux, quatre espèces d'amphibiens et deux espèces de tortues ont un statut légal (menacées ou vulnérables). (MFFP, 2018a; MRNF, 2010)

De manière plus spécifique, une vingtaine d'espèces présentent un intérêt pour le piégeage et la chasse. Les espèces qui sont le plus exploitées sont le cerf de Virginie, l'orignal, l'ours noir et le rat musqué. Le cerf, plus présent dans l'ouest et dans le sud du territoire, est particulièrement abondant, en raison des peuplements forestiers mélangés. L'ours et l'orignal, qu'on retrouve davantage dans les grands massifs forestiers, sont plus abondants dans l'est et près de la frontière américaine. L'orignal est également abondant dans la MRC de Lotbinière. Il est intéressant de noter que, contrairement au cerf de Virginie, la répartition de l'ours et de l'orignal n'est pas dictée par le gradient climatique ou les différents peuplements forestiers retrouvés sur le territoire. C'est plutôt l'étalement urbain qui perturbe la répartition de ces espèces. (MRNF, 2010)

Les aires protégées sur terres publiques dans la région de la Chaudière-Appalaches représentent 3% du territoire, ce qui représente environ 19% des terres du domaine de l'état. Ces aires protégées sont classées sous les différentes catégories prédéterminées par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). On retrouve, entre autres, six réserves écologiques, cinq habitats d'espèces floristiques menacées ou vulnérables, un parc national (le parc Frontenac, qui couvre 73,9 km² en Chaudière-Appalaches), cinq refuges d'oiseaux migrateurs, quatre EFE, six aires de confinement du cerf de Virginie, 16 refuges biologiques, 93 aires de concentration d'oiseaux aquatiques, 3 colonies d'oiseaux sur une île, 7 héronnières et 7 habitats du rat musqué. Ce sont les aires de confinement du cerf de Virginie (136,55 km²), les aires de confinements d'oiseaux aquatiques (235,5 km²) et le parc Frontenac (73,9 km²) qui couvrent la majorité des 477 km² d'aires protégées retrouvées en Chaudière-Appalaches. Le territoire, en plus de ses aires protégées, comporte également deux parcs régionaux (Massif du Sud et des Appalaches) et trois zones d'exploitation contrôlée (zecs). Les zecs sont des zones ayant un statut légal, mais où sont permises à la fois des activités d'exploitation, d'aménagement et de conservation. (MRNF, 2010)

D'autres zones, qui ne sont pas officiellement protégées, permettent tout de même d'ajouter à la conservation de certains territoires et habitats en Chaudière-Appalaches. En effet, 18 refuges biologiques ne sont pas inclus dans les aires officielles. Également, on trouve des habitats d'espèces fauniques à statut dans Lotbinière (tortue des bois) et autour du lac Talon (pygargues). (MRNF, 2010)

La particularité en Chaudière-Appalaches demeure la grande proportion de terres privées. Cela fait en sorte, entre autres, que plus de 1189 ha d'EFE, sept habitats du rat musqué et quatre concentrations d'oiseaux

aquatiques ne sont protégés par aucune loi. Également, une grande proportion des aires de confinement du cerf se trouve en terre privée, et très peu de ravages sont aménagés lors de l'exploitation forestière. (MRNF, 2010)

5.1.3 Portrait social : occupation et gestion du territoire

La portion habitée du territoire de la Chaudière-Appalaches est composée de 136 municipalités qui sont regroupées en neuf MRC. Ces dernières regroupent en majorité des petits villages de moins de 2000 habitants. D'ailleurs, plus de la moitié de la population se retrouve dans les plus grandes villes, soit Lévis, Saint-Georges et Thetford Mines. (Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire [MAMOT], 2017) En termes d'occupation du sol, ce sont les terres à proximité du fleuve qui sont principalement occupées par l'humain et utilisées pour l'agriculture. Les terres longeant la rivière Chaudière sont également grandement occupées par l'agriculture. D'ailleurs, étant donné que la région de la Chaudière-Appalaches compte peu de lacs, l'occupation des rives par des propriétaires privées ou par les routes est très forte, ce qui réduit fortement la présence d'écosystèmes aux abords des cours d'eau. À titre d'exemple, 40% des rives de la rivière Etchemin auraient perdues leur caractère naturel. (MRNF, 2010)

Une des particularités de l'occupation du territoire, qui est d'ailleurs ressortie dans les sections précédentes, est le fait que seulement 15,3% des terres soient de tenure publique. Cette situation fait en sorte que, malgré le fait que la région soit boisée à 75%, la mise en valeur pour la conservation est plus complexe, puisque les ressources naturelles y sont fortement exploitées en terres privées, que ce soit par la foresterie, l'agriculture, l'exploitation minière et même la chasse. D'ailleurs, 85% des forêts du territoire sont de tenure privée, et les propriétaires les exploitent fortement. (MRNF, 2010) Ce sont d'ailleurs 24 000 propriétaires privés qui se partagent le territoire forestier régional. (Association forestière des deux rives, 2005) La conservation en Chaudière-Appalaches est d'autant plus difficile puisqu'aucun organisme de conservation n'y œuvre exclusivement. Certains organismes comme Canards Illimités Canada vont agir de manière ponctuelle (portraits des milieux humides de la région, par exemple), sans nécessairement avoir une vision globale du territoire (Canards Illimités Canada, 2019). De plus, bien qu'on y retrouve sept organismes de bassin versant et un conseil régional de l'environnement de la Chaudière-Appalaches (CRECA) (CRECA, 2018), les démarches demeurent peu nombreuses quant à la concertation des différents acteurs du milieu au niveau de l'environnement. (CRECA, 2018; MRNF, 2010)

Les terres de tenure publique, principalement située à l'est, dans les MRC de Montmagny et de l'Islet, sont, quant à elles, soumises à une plus grande variété d'activités, soit la conservation, le récréotourisme et l'exploitation des ressources forestières, fauniques et minérales. Une importante proportion des terres publiques sont toutefois sous contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF), c'est-à-dire environ 87%. L'idée de conserver les ressources naturelles sur le territoire demeure davantage prônée en

terres publiques. (MRNF, 2010) Un plan régional de développement intégré des ressources naturelles et du territoire (PRDIRT) et une commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire avaient d'ailleurs été mis sur pied en 2006 par la conférence régionale des élus (CRÉ). Cela avait permis, entre autres, de mettre sur pied des plans d'aménagement forêt-faune sur les terres publiques, et d'offrir de la formation à ce propos aux conseillers forestiers et aux aménagistes des MRC. (CRÉ, 2006; MRNF, 2010) Cependant, les CRÉ ont été abolis en 2015, faisant en sorte que les PRDIRT ne sont plus en vigueur. En effet, toutes les responsabilités des CRÉ ont été transférées aux MRC, faisant en sorte de perdre cet organisme qui permettait la concertation entre les différents acteurs du territoire (MAMOT, s. d.).

5.1.4 Infrastructures routières

Le réseau routier de la Chaudière-Appalaches est très développé, et l'accès au territoire entier assez facile. Le réseau supérieur du MTQ totalise 2979 km, ce qui inclut l'autoroute Jean-Lesage (20), l'autoroute Robert-Cliche (73), 444,7 km de routes nationales, et un grand nombre de routes régionales et collectrices. Selon le site internet du MTQ, les axes routiers principaux, outre celles nommées précédemment, sont la 277, la 112, la 132 et la 173 (MTQ, 2018a). Le réseau routier de la Chaudière-Appalaches est très important puisqu'il assure les échanges commerciaux entre le Maine et les axes routiers provinciaux. C'est d'ailleurs une des raisons qui ait motivé le prolongement de l'autoroute 73 jusqu'à Saint-Georges. L'accès au territoire public est adéquat, et assuré par plusieurs organismes (entreprises forestières, organismes gestionnaires des zecs, Société des établissements de plein air du Québec (SEPAQ), municipalités et MRC). En ce qui concerne l'accessibilité aux terres privées, la même problématique que pour l'occupation du territoire revient. La plupart des chemins sont privés et accessibles seulement par les personnes autorisées. Ceci signifie que tous les ouvrages de traversées de cours d'eau, souvent utilisés pour aménager des passages, sont souvent inadéquats, et inaccessibles par le MTQ. (MRNF, 2010)

5.1.5 Enjeux du territoire

Afin de clore le portrait de la région de la Chaudière-Appalaches, la présente sous-section se veut une revue des enjeux qui peuvent toucher ou guider l'application de la méthodologie du présent essai.

Ainsi, compte tenu des éléments exposés dans le présent chapitre, il est possible de mettre en lumière la biodiversité présente sur le territoire. On y retrouve autant des grands mammifères (particulièrement le cerf de Virginie et l'orignal) soumis à une pression de chasse, que des espèces à statut. Leur répartition est variée, ce qui fait en sorte que le territoire n'est pas homogène, en termes de biodiversité. La topographie particulière contribue également à cette hétérogénéité, et crée un paysage varié, comptant à la fois des montagnes de haute altitude et des milieux humides. Cela fait en sorte que les espèces adaptées à ces milieux sont relativement localisées sur le territoire. (MRNF, 2010)

La région est aux prises avec des enjeux concernant la gestion et la conservation des ressources naturelles. D'abord, il faut considérer que le territoire est fortement fragmenté par les routes, ce qui peut constituer un défi pour le maintien de la biodiversité. De plus, étant donné que cette dernière est au cœur de l'économie de la région (industrie forestière, par exemple) dans un contexte où la majorité des terres sont de tenure privée, cela peut représenter un défi pour la conservation des ressources et l'harmonisation des activités sur le territoire. (MRNF, 2010)

D'ailleurs, comme il y a absence d'organisme de conservation œuvrant exclusivement en Chaudière-Appalaches et que les CRÉ ont été abolis, on se retrouve avec un défi important concernant la concertation des différents acteurs concernés par les ressources naturelles. En effet, un grand nombre d'organismes développent des projets à plus ou moins grandes échelles, sans ligne directrice pour la région. Le CRECA est le meilleur acteur pour réunir les parties prenantes du territoire, mais il ne peut se dédier à 100% à la conservation. Il a d'ailleurs produit plusieurs documents concernant la conservation en Chaudière-Appalaches, mais n'a pas de pouvoir légal pour les faire appliquer. (CRECA, 2018) Sur les terres privées, quelques organismes comme l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière produisent également des documents et plans pour exploiter les ressources de façon durable (Doyon et Fortier-Guay, 2017). Des visions sur les activités du territoire se développent et sont mises en œuvre également au niveau des municipalités et des MRC, qui ont un pouvoir légal sur leur territoire. (MRNF, 2010)

Voici donc la liste des principaux enjeux ayant un lien avec le présent projet :

- Conservation des milieux humides de la région
- Conservation des écosystèmes particuliers de la région (EFE, par exemple)
- Maintien des populations de cervidés (CRÉ, 2006)
- Protection des espèces à statut
- Exploitation durable des ressources naturelles
- Harmonisation des usages du territoire (CRÉ, 2006)

5.2 Identification des enjeux de la DGCA et du MTQ

Comme exposé au chapitre 1, différents éléments font en sorte que les enjeux au MTQ qui influencent le choix d'emplacement des passages fauniques sont nombreux et découlent principalement de la mission du Ministère. D'une part, le premier enjeu qu'il est possible de faire ressortir concerne la sécurité des usagers de la route, qui, généralement, influence grandement l'aménagement de passages fauniques à travers la province. D'autre part, comme la conservation de la biodiversité et le maintien de la connectivité ne font pas partie de la mission principale, cela entraîne un enjeu concernant les ressources financières et

temporelles qui limitent et complexifient les choix d'emplacements. La mission du MTQ fait également en sorte qu'on trouve un enjeu de planification des aménagements par le manque d'une vision globale. Également, le maintien et le rétablissement de la connectivité à l'échelle du paysage, bien que mentionné sur le site du Ministère, demeure un concept difficile à appliquer, comme l'ont montré différentes rencontres avec des experts du MTQ. Comme les routes ont un fort impact sur la connectivité, il va de soi, même si cela n'est pas ancré dans les mœurs, qu'il s'agit d'un enjeu pour la mise en place de passages fauniques au Québec. Finalement, l'ensemble de ces éléments mettent en évidence un dernier enjeu, qui concerne davantage les exigences des autres ministères envers le MTQ. Comme mentionné au chapitre 1, le MFFP, qui est responsable de la conservation et la protection de la faune, n'a aucune exigence concernant le maintien de la connectivité entre les habitats. Il relève donc d'un ministère dont la vocation n'est pas directement liée à la conservation et de la bonne volonté de ses employés de prendre des mesures pour protéger la biodiversité, sans ligne directrice claire du ministère spécialisé en la matière. (DGCA, conversations, 2017-2018; MFFP, 2018; MTQ, 2018a)

De nombreuses discussions avec l'équipe de la DGCA ont permis de confirmer que la sécurité des usagers, le maintien de la connectivité, les ressources limitées et l'absence d'une vision globale provenant des hautes instances (découlant de la mission restreinte du MTQ) étaient des enjeux auxquels ils étaient confrontés lors de la mise en place de passages fauniques. Un autre enjeu, plus personnel aux experts de la DGCA est ressorti à quelques reprises, et concernait davantage la conservation de la biodiversité de la région au sens large. Cet enjeu ressortait d'un intérêt d'atténuer les impacts des routes pour toute la faune, et de trouver des emplacements qui seraient optimaux pour la protection de la biodiversité en général.

Voici donc un portrait global des enjeux à considérer dans l'élaboration des objectifs spécifiques :

- Considération de la sécurité routière
- Ressources financières et temporelles limitées
- Mission du MTQ (manque d'une vision)
- Exigences d'autres ministères
- Maintien ou rétablissement de la biodiversité au sens large

5.3 Identification des objectifs spécifiques

Dans le but d'obtenir une variété de possibilités et d'arguments pour la sélection de zones pertinentes à la mise en place de passages fauniques et dans le but de couvrir le plus grand nombre d'enjeux possible, il a été convenu de procéder avec des objectifs spécifiques relativement généraux :

- Cibler des zones à risque pour la sécurité routière.

- Cibler des zones à fort potentiel de présence faunique sur le réseau routier, dans l'optique de réduire la mortalité faunique ou d'améliorer la connectivité.
- Prioriser les zones, dans la mesure du possible, en fonction de la pertinence des habitats et de la tenure des terres.

Comme la grande faune est au cœur des enjeux du MTQ pour la sécurité des usagers et du territoire de la Chaudière-Appalaches (plusieurs habitats de cervidés et importance de ces taxons pour la chasse) (MRNF, 2010; MTQ, 2018a), il a été convenu qu'un objectif (le 1^{er} mentionné) serait entièrement dédié aux espèces constituant ce groupe. L'importance des enjeux reliés à cet objectif fera également en sorte que les zones qui seront ciblées en se basant sur cet objectif auront un poids argumentaire fort.

Le second objectif a été déterminé dans l'optique où on retrouve une biodiversité très diversifiée sur le territoire, et qu'un des enjeux relevés à la sous-section 5.1.2 était de conserver, au sens large, la faune de la Chaudière-Appalaches. Il a été décidé qu'il serait pertinent de partir du réseau routier et de relever des zones d'intérêt s'y superposant, plutôt que d'effectuer une étude de réseaux de corridors écologiques, et d'ensuite vérifier si ces zones touchaient au réseau routier. Une démarche qui aurait été davantage axée sur la connectivité et qui ne tiendrait pas nécessairement compte de l'ensemble du réseau routier n'est pas adaptée au contexte de mise en place par opportunité. En effet, comme le contexte de sélection des emplacements fait en sorte qu'il est encore très difficile de justifier l'aménagement d'un passage sans que des travaux soient prévus, la méthode présentée ci-dessus apparaissait comme la plus logique.

5.4 Analyse des données disponibles

Les données disponibles dans le géocatalogue du MTQ et pouvant être pertinentes pour l'atteinte des objectifs spécifiques ont été téléchargées. Il s'agissait principalement des données concernant les différents habitats du territoire ainsi que la tenure des terres et le statut légal de ces habitats :

- Aires protégées (MELCC, 2018d);
- Habitats fauniques (Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles [MERN], 2015);
- Peuplements forestiers (MFFP, 2017);
- EFE (MFFP, 2018b);
- Milieux humides (Canards Illimités Canada, 2018; MELCC, 2017);
- Cours d'eau et plans d'eau (MELCC, 2018a);
- Tenure des terres (MERN, 2017);
- Réseau routier (couche provenant du MTQ, non disponible au public).

D'autres couches pouvant être visualisées sur IGO, et qui auraient été pertinentes à l'analyse, n'étaient pas disponibles sur le géocatalogue du MTQ permettant de télécharger des données géospatiales. À titre d'exemple, la couche des zecs du territoire n'était pas disponible.

Afin de compléter les données trouvées sur le géocatalogue, les couches non officielles ayant été produites au MTQ à partir d'autres couches ou données demandées à d'autres ministères (MFFP, entre autres) et les différentes bases de données Excel disponibles au MTQ ont été consultées. Il a donc été possible d'obtenir les données et couches suivantes :

- Collisions;
- Carcasses;
- Données de chasse (original et cerf);
- Espèces inscrites au Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ) (rayon de 150 m et 1500 m);
- Structures;
- Ponceaux.

5.5 Élaboration d'un plan d'analyse

Avec en tête les méthodes d'analyse présélectionnées au chapitre 4, les objectifs spécifiques élaborés à la section 5.3 ainsi que les couches de données disponibles, il est maintenant possible d'élaborer un plan d'analyse permettant d'arriver à l'outil cartographique (série de cartes).

Pour répondre aux deux premiers objectifs de la manière la plus complète possible, il a été déterminé qu'il était nécessaire de préciser des groupes d'espèces, et non pas des espèces précises. Il a été considéré qu'il était nécessaire de cibler des grands groupes d'espèces utilisant des habitats différents, afin de ne négliger aucune espèce et aucun type d'habitat. Cibler des espèces en particulier aurait pu mener à une analyse visant seulement certains types d'habitats, ce qui ne rejoint pas le second objectif.

D'abord, comme la grande faune doit être tenue en compte pour la sécurité routière (1^{er} objectif, section 5.3), alors il a été décidé qu'elle constituerait la première catégorie d'espèces (Gratton, 2014; Peltier, 2012). En second lieu, pour atteindre le second objectif, il a été déterminé qu'à la fois des espèces terrestres de moyenne taille et des espèces aquatiques ou semi-aquatiques devraient être ciblées. Comme il est connu que la moyenne faune terrestre subit beaucoup de mortalité sur les routes, il semblait logique de choisir cette catégorie d'espèces. Bien que les espèces constituant la catégorie de la moyenne faune ne soient pas toutes sensibles à des réductions de population, il convenait de tout de même viser des zones pour la moyenne faune. (Jaeger et al., 2017) Finalement, comme l'objectif vise la biodiversité en général et que la revue de littérature présentée au chapitre 1 a permis de mettre en relief la sensibilité des amphibiens aux routes

(Fahrig et al., 1995), il allait de soi de tenir compte des espèces aquatiques et semi-aquatiques. De plus, comme les écosystèmes humides ne sont pas très nombreux sur le territoire, il sera intéressant d'y porter une certaine attention (MRNF, 2010).

Ainsi, il a été déterminé que les espèces terrestres représenteraient la moyenne faune utilisant le milieu terrestre pour son cycle de vie entier (la grande faune terrestre est déjà visée par le premier objectif) et la faune aquatique et semi-aquatique serait représentée par les espèces autres que l'ichtyofaune utilisant les milieux humides pour une partie ou tout leur cycle de vie (par exemple, certains amphibiens et reptiles, ou certains mammifères comme les rats musqués) (MFFP, 2018a). Il a été déterminé que les espèces utilisant spécifiquement les cours d'eau ne seraient pas visées puisque ces derniers sillonnent le territoire en entier et seraient très difficiles à cibler ou prioriser (MRNF, 2010), d'autant plus que les ouvrages sont déjà soumis à une réglementation pour qu'ils assurent le passage des espèces purement aquatiques (MPO, 2016).

À titre de rappel, les techniques qui avaient été retenues au chapitre 4 étaient l'identification d'habitats et de corridors écologiques de manière visuelle avec traitement de base des couches ainsi que l'analyse de densité pour les collisions. L'analyse de type filtre grossier et filtre fin avait également été retenue pour identifier les habitats d'importance, mais n'était pas à prioriser.

Ainsi, pour le premier objectif, et en considérant que les grands mammifères étaient ciblés, il a été déterminé que le type d'analyse à préconiser serait celui de l'analyse de densité de collisions, puisque les données nécessaires sont disponibles. Les résultats pourront être modulés selon la tenure des terres, afin de tenir compte du troisième objectif.

En ce qui concerne le second objectif, l'analyse visée sera l'identification des habitats d'importance traversés par des routes, et si possible, les corridors de déplacement. L'analyse visuelle se basera sur les couches d'habitats de base (couches écoforestières, milieux humides) (Gratton, 2010) et la sélection ou classification pourra être modulée avec le statut légal (couches des aires protégées et des habitats fauniques) des terres ou la tenure de ces dernières, entre autres. Les résultats devront être modulés selon la pertinence des habitats relevés (taille, emplacement, etc.) pour respecter le troisième objectif (section 5.3).

5.6 Application du plan d'analyse et démarche géomatique détaillée

La présente section expose la mise en œuvre du plan d'analyse. Il est à noter que les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel ArcGIS 10.5.1, et qu'elles ont, bien entendu, été basées sur les choix effectués à la section 5.5, mais également sur les études présentées au chapitre 3 (choix quant aux traitements de base des couches, par exemple) ainsi que sur la méthode essais-erreurs (suggérée au chapitre 4), afin d'obtenir une démarche optimale. Au fil de l'évolution des cartes, de nouvelles analyses ont été ajoutées au fur et à mesure de l'avancement du projet et des consultations avec les experts en environnement de la DGCA. Comme il a

été exposé à la section 5.4, les données utilisées étaient autant des couches officielles provenant de divers ministères (MELCC, MFFP, MERN, MTQ) que des couches non officielles fournies par le MTQ.

Voici donc, en se basant sur une technique d'analyse simplifiée, le détail de la démarche finale suivie et suggérée pour la réalisation des cartes. Elle mène à quatre cartes, qui permettent, dans la mesure du possible, de couvrir les catégories d'espèces sélectionnées.

En raison de l'inexistence de registre des carcasses suffisamment exhaustif (une vérification a été faite) pour pouvoir cibler des zones d'occurrence, l'analyse pour la moyenne faune demeure très générale. L'idée est donc de faire ressortir de manière visuelle les habitats potentiels pour la faune terrestre au sens large, de façon à couvrir la moyenne faune terrestre. La première étape consistait à créer une première carte globale des massifs forestiers et des milieux humides, en se basant en partie sur le principe du filtre grossier (faire ressortir les aires protégées, les habitats fauniques, etc.) (Coulombe et Nadeau, 2013). Ainsi, les couches de peuplements forestiers du Système d'information écoforestière (SIEF) du MFFP ont été traitées afin d'obtenir le couvert forestier global de la Chaudière-Appalaches en suivant le principe présenté par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et le MDDELCC dont le but était de représenter l'occupation du sol de la région des Basses-terres du Saint-Laurent (ECCC et MDDELCC, 2018). Aucune distinction n'a été faite entre les types de peuplement étant donné qu'aucune espèce précise n'avait été ciblée. Également, les cours d'eau et les routes n'ont pas été considérés comme des éléments de fragmentation, c'est-à-dire qu'un massif traversé par une route n'était pas scindé en deux massifs distincts (ECCC et MDDELCC, 2018). L'idée derrière ce choix était de pouvoir visualiser la taille réelle des massifs coupés par des routes, et non la taille des massifs de part et d'autre. Ensuite, plusieurs couches de milieux humides (couches de Canards Illimités Canada et du gouvernement du Québec) présents sur le territoire ont été fusionnées afin d'obtenir un portrait de ces écosystèmes sur l'ensemble du territoire, ainsi qu'une vision plus globale des mosaïques de milieux humides. Les couches thématiques d'aires protégées ainsi que d'habitats fauniques ont également été ajoutées afin de mettre l'accent sur certaines municipalités, et de pouvoir potentiellement mieux cibler ou prioriser certaines zones. Les attributs concernant les oiseaux ou les grands mammifères ont été exclus, puisqu'ils seront traités sur d'autres cartes, ou ne sont pas considérés dans l'analyse.

Pour la deuxième carte, l'idée est de se concentrer sur la grande faune. Comme les données disponibles pour cette catégorie d'espèces sont intéressantes, quelques couches seulement ont été nécessaires. Ainsi, les données de collisions, qui sont principalement constituées des rapports des différents corps policiers portant sur des accidents (enregistrés à la Société d'assurance automobile du Québec [SAAQ]) ayant impliqué des cerfs de Virginie, des orignaux ainsi que des ours noirs en Chaudière-Appalaches, permettent d'obtenir une excellente idée des zones à prioriser. Ainsi, afin de faire parler les données visuellement, une analyse à

l'aide de l'outil « Densité de points » de l'extension «Spatial analyst» du logiciel ArcGIS 10.5.1 a permis de mettre en évidence les zones ayant eu la plus grande densité d'accidents. Cet outil permet, globalement, de calculer la densité d'unités ponctuelles (dans ce cas, les collisions) dans un certain rayon de chaque cellule d'une couche matricielle (ESRI, 2016). Pour les besoins de la présente analyse, la couche matricielle utilisée consistait en une zone tampon d'un rayon de 50 m qui avait été produit pour tout le réseau supérieur de la Chaudière-Appalaches. C'est à l'intérieur de cette couche matricielle que le calcul a donc été effectué pour trouver la densité de collisions autour de chacune de ses cellules dans un rayon de 500 m. Étant donné qu'il s'agit d'une densité par surface (nombre de collisions dans la zone de 500 m de rayon entourant chaque cellule matricielle), cette dernière n'était pas analysable dans le présent contexte. En effet, il ne s'agissait pas, par exemple, du nombre de collisions rencontrées sur une unité linéaire de 1 km. Ainsi, bien que les chiffres obtenus en sortie pour chacune des catégories n'étaient pas pertinents, les densités obtenues ont tout de même plus être reclassifiées en huit catégories obtenues par une répartition naturelle de Jenks (option dans l'outil « Reclassify » d'ArcGIS). Cela permettait donc d'obtenir un gradient qualitatif, visuellement analysable en accordant des couleurs différentes aux catégories de densités (rouge pour la plus forte densité et vert forêt pour la plus faible). Il est à noter que les chiffres accordés à chacune des catégories ne représentent pas une densité, mais permettent seulement de les distinguer plus facilement (catégorie 1 à 8). La base de données utilisée pour l'analyse comprenait toutes les collisions ayant eu lieu entre 2010 et 2016. Ensuite, la couche thématique de tous les ravages et habitats du cerf relevés sur le territoire par le MFFP a été affichée, afin de vérifier la corrélation entre les zones relevées et l'habitat du cerf. La couche des massifs forestiers a également été affichée.

Afin de mettre l'accent sur la faune semi-aquatique et aquatique (autre que la faune ichthyenne), et par le fait même, sur certaines espèces sensibles (Trombulak et Frissell, 2000), la couche des milieux humides a été traitée individuellement dans une troisième carte. Ainsi, l'analyse visait d'abord à faire ressortir les principaux milieux humides et milieux mal drainés traversés par des routes (Coulombe et Nadeau, 2013). Une vérification de la couche utilisée à la première carte a permis de constater que tous les milieux ayant un mauvais drainage et les habitats de type aulnaies étaient déjà inclus, alors il n'a pas été nécessaire de jumeler la couche de milieux humides avec la couche des milieux écoforestiers (ECCC et MDDELCC, 2018). Une zone tampon de 50 m a ensuite été réalisée autour du réseau routier supérieur, afin de pouvoir mettre en évidence les milieux humides se trouvant à proximité des routes. La couche des aires protégées et des habitats fauniques d'espèces semi-aquatiques ou aquatiques a également été ajoutée à la carte, afin de faciliter la sélection de certaines zones. Cette analyse demeure générale, mais puisque ces milieux sont relativement localisés sur le territoire, un portrait a pu en ressortir.

Un des enjeux relevés précédemment concernait la tenure des terres du territoire et l'harmonisation des activités en Chaudière-Appalaches. La couche portant sur la tenure des terres a donc été superposée pour peaufiner les cartes, afin de vérifier si elle pouvait aider à prioriser certaines zones.

Bien entendu, des couches de base ont été ajoutées, comme le réseau routier, les MRC, les cours d'eau (si nécessaire), afin de faciliter la localisation des zones d'intérêt. Ainsi, pour chaque carte, une analyse personnalisée a été réalisée, de façon globale. Une analyse par MRC a également été réalisée afin de faciliter la localisation des zones, la comparaison entre ces dernières, ainsi que pour faciliter l'application sur le terrain.

Une fois les trois cartes de base obtenues, les zones d'importance ciblées ont été mises en commun sur une quatrième carte, afin de vérifier s'il y avait des superpositions et de mieux pouvoir visualiser les MRC à mettre en priorité selon les différents thèmes abordés.

6. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'application de la méthodologie, au chapitre 5, a mené vers quatre différentes cartes. Le présent chapitre expose l'ensemble des résultats (zones d'intérêts obtenues) et cartes obtenus ainsi que les conclusions qui en ont été tirées.

6.1 Analyse globale de la région

À titre de rappel, la carte 1 (figure 6.1) se voulait d'abord une représentation générale des différents écosystèmes de la région et de leur répartition sur le territoire. En effet, cette carte doit servir d'outil afin de détecter les écosystèmes « généraux », c'est-à-dire pouvant convenir à un grand nombre d'espèces. De manière plus spécifique, comme aucune donnée empirique (données d'occurrences, par exemple) n'était disponible et comme aucun habitat particulier n'avait été attribué pour la catégorie de la moyenne faune, la carte globale se voulait particulièrement importante pour cibler des écosystèmes terrestres d'importance pouvant potentiellement être utilisés par la faune terrestre, et donc par la moyenne faune terrestre.

Dans l'optique d'une analyse régionale, la carte 1 (figure 6.1) montre que la Chaudière-Appalaches possède un couvert forestier important, comme l'avait illustré le portrait réalisé à la section 5.1. Pour cette raison, la couche forestière est peu indicatrice et ne permet pas de cibler des zones où des massifs d'importance seraient traversés par des routes, ou des zones qui pourraient être de potentiels corridors de déplacement entre ces massifs. Cette couche confirme en fait que l'identification de zones d'intérêt par observation visuelle à cette échelle s'applique généralement mieux dans un milieu très fragmenté et très anthropique (Cormier et al., 2012), ce qui n'est pas le cas en Chaudière-Appalaches. Lorsqu'il a été constaté que la carte globale ne donnait pas les résultats souhaités, il a été tenté de préciser l'analyse en ne conservant que les massifs de plus de 35 hectares, c'est-à-dire une grandeur de massif forestier qui permet de soutenir une diversité de populations d'espèces différentes (Gratton, 2010). En effet, la réflexion derrière ce test était la suivante : si un massif forestier de plus grande superficie, qui contient, par le fait même, une plus grande biodiversité, est traversé par une route, il se pourrait que les traversées soient plus nombreuses. Toutefois, le tri réalisé n'éliminait pas un nombre significatif de zones boisées.

Bien que la carte 1 (figure 6.1) soit beaucoup trop générale à échelle régionale pour cibler des zones à présence faunique potentielle traversées par les routes, cette dernière peut tout de même permettre de tirer des conclusions qui pourront guider l'émission de recommandations pour la suite des choses. De plus, en s'attardant aux MRC, plus spécifiquement, il est possible de tirer quelques conclusions plus précises.

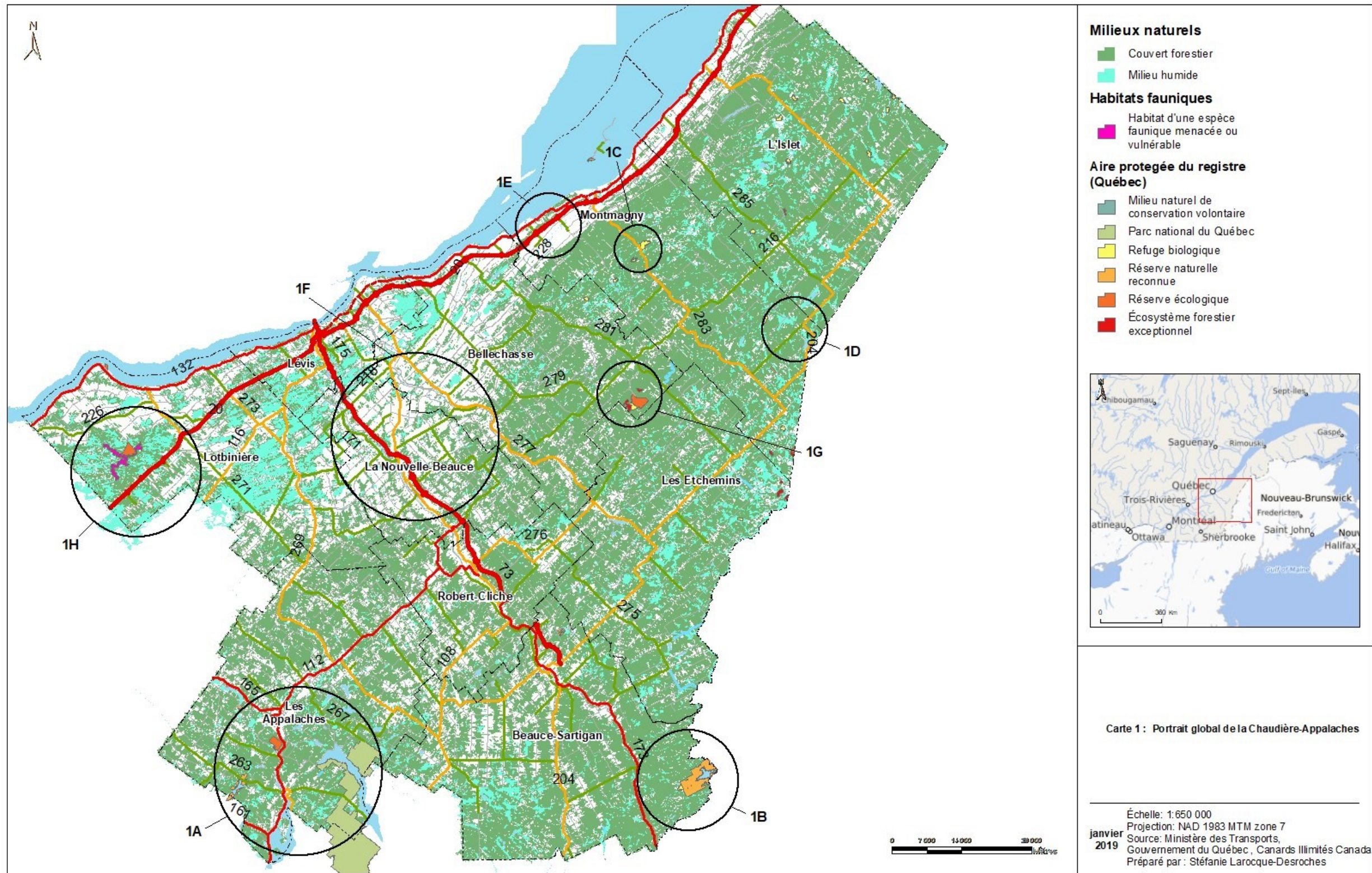


Figure 6.1 Portrait global de la Chaudière-Appalaches

D'abord, en tenant compte du fait que le milieu forestier est très important, et qu'il est difficile de cibler des zones d'intérêt au sein de ce dernier avec le type d'analyse sélectionné, la suite de l'analyse se concentrera davantage sur les parties très fragmentées et exploitées du territoire ou sur les zones protégées. Ainsi, à titre de rappel, comme l'avait prédit le portrait de la section 5.1, la fragmentation sur le territoire est principalement due aux routes, aux terres agricoles, aux petits villages ainsi qu'aux plus grands centres urbains (MRNF, 2010). Ceci explique d'ailleurs pourquoi les zones à fort potentiel de présence faunique sont très difficiles à prédire pour les MRC Les Appalaches, Beauce-Sartigan, Les Etchemins et Robert-Cliche. Étant donné qu'on n'y retrouve pratiquement que du milieu forestier entrecoupé par des routes, y cibler des zones prioritaires visuellement est pratiquement impossible. Les seuls éléments qui pourraient avoir un poids argumentaire pour cibler des zones dans les MRC Les Appalaches, Beauce-Sartigan et Les Etchemins sont les aires protégées ou refuges biologiques qu'elles comprennent en raison de leur statut légal (MELCC, 2018b). D'abord, il faut noter que les refuges biologiques et EFE de la MRC Les Etchemins sont petits, très ponctuels et ne sont pas traversés par des routes du réseau supérieur. Bien entendu, si des travaux venaient à avoir lieu sur des structures présentes sur le réseau local à l'intérieur de ces aires, il serait important de les considérer. Toutefois, dans la présente analyse, elles ne sont pas mises en priorité. Dans la MRC Les Appalaches, on retrouve au sud le parc national Frontenac traversé par la route 263, et non loin de là, une réserve naturelle fragmentée par cette même route. Dans le même secteur, on peut également constater la présence, plus au nord, de la Réserve écologique de la Serpentine-de-Coleraine qui longe par la route 112. Comme ce sont des écosystèmes reconnus par le gouvernement (MRNF, 2010), cette concentration d'aires protégées peut représenter une zone d'intérêt (zone 1A) pour la MRC, et même à l'échelle de la Chaudière-Appalaches. En effet, il pourrait être intéressant, considérant que cette zone possède probablement un intérêt faunique particulier, d'assurer une connectivité dans cette région pour réduire les impacts des routes. Les travaux ayant lieu dans cette zone pourraient donc être mis en priorité.

Une autre zone sur laquelle il est possible de mettre l'accent se situe au sud-est de la MRC Beauce-Sartigan (zone 1B). On y retrouve une réserve naturelle ainsi qu'un refuge biologique de bonne taille. Même si elle n'est pas traversée par des routes du réseau supérieur, il demeure que si des travaux ont lieu sur des routes locales à proximité, il serait pertinent de la considérer.

Dans les régions plus à l'est du territoire, c'est-à-dire dans les MRC de Montmagny et L'Islet, on se retrouve également dans la situation où il est très difficile de cibler des zones avec certitude en milieu forestier, mis à part pour un refuge biologique traversé par la route 283 (zone 1C). Comme celui-ci est d'une bonne taille et qu'il est situé dans une zone très boisée et à proximité d'autres petits refuges biologiques, il serait intéressant de considérer cette zone. C'est encore ici en raison du fait qu'il s'agit d'une zone réglementée où il y a possibilité que les espèces qui y vivent subissent de la mortalité que ce secteur pourrait présenter

un certain intérêt. Outre cette zone, les autres refuges biologiques et EFE présents dans ces MRC ne sont pas considérés, pour les mêmes raisons que celles énumérées aux paragraphes précédents. On peut également penser au Parc régional des Appalaches, qui n'apparaît pas sur les cartes, mais qui se situe au nord de la jonction entre la rue Principale et la route 204 (zone 1D) (Parc régional des Appalaches, s. d.). Bien que n'ayant pas de statut de protection gouvernemental (Association des parcs régionaux, 2017), il pourrait potentiellement être plus facile de justifier des passages à proximité de cette zone.

Les MRC de Montmagny et L'Islet, contrairement à celles du sud du territoire, sont légèrement plus occupées et fragmentées. Il est donc possible d'y cibler quelques éléments importants hors du milieu forestier. En effet, au nord de ces MRC, on se retrouve dans une portion agricole à proximité du fleuve, comme le mentionnait le portrait du territoire (MRNF, 2010). Ainsi, la portion de l'autoroute 20 située en zone agricole (zone 1E) pourrait représenter une zone à laquelle il serait intéressant de porter une attention dans de futures analyses plus détaillées. En effet, comme la zone est fortement occupée, il se pourrait que certaines espèces tentent de se déplacer dans les quelques massifs forestiers adjacents à l'autoroute (routes-tronçons-sections (RTS) 00020-06-200 à 00020-06-220) (Blais, 2018; Gratton, 2014). Il serait important, à l'aide de données plus détaillées, de cibler les tronçons routiers problématiques.

Concernant les MRC de Nouvelle-Beauce et Bellechasse, ces dernières sont boisées sur environ la moitié de leur territoire respectif. Sur l'autre moitié, on se retrouve en absence de couvert forestier, qui est expliquée par la présence d'agriculture en bordure de la rivière Chaudière et par la présence de zones plus urbanisées (MRNF, 2010). Cette zone anthropique est d'ailleurs comprise entre les mosaïques de milieux humides et les massifs forestiers de l'ouest du territoire, ainsi que les massifs de l'est. Pour ces deux MRC, il y a possibilité qu'on retrouve des zones plus localisées présentant un haut taux de collision ou empêchant les déplacements. En effet, en zone forestière, il est plus difficile de cibler des zones d'intérêt puisque la faune peut utiliser l'ensemble de l'habitat et traverser à divers endroits. Toutefois, dans une zone plus dénudée, les corridors écologiques seront plus étroits compte tenu du manque de milieux naturels. (Blais, 2018; Gratton, 2014) Comme il n'est toutefois pas possible d'identifier clairement les milieux naturels qui pourraient servir à cet effet, et donc les tronçons routiers pouvant présenter un intérêt pour la mise en place de passages fauniques, une analyse plus poussée liée à la connectivité dans cette région (zone 1F) pourrait être réalisée à ce propos. Outre cet élément particulier, la MRC de Bellechasse possède également une particularité dans sa partie boisée. Si on s'attarde aux aires protégées, il est possible de remarquer qu'un écosystème forestier exceptionnel, un refuge biologique ainsi qu'une réserve écologique sont présents dans le même massif au sud de la MRC (zone 1G). Ils sont en fait situés légèrement au sud du parc régional du Massif du Sud, un écosystème particulier de la région (Massif du sud, s. d.; MRNF, 2010). Aucune route du réseau supérieur ne traverse cette zone d'intérêt, mais il demeure que les travaux sur les routes locales autour

de cette zone seraient à surveiller. En effet, comme ce massif contient des populations d'originaux ainsi que plusieurs espèces particulières vivant en altitude (MRNF, 2010), les collisions sur les routes majeures à proximité restent à surveiller si les populations se déplacent vers d'autres milieux naturels de la région (voir la figure 6.2).

La MRC de Lotbinière et la Ville de Lévis sont à la fois urbanisées, boisées et comptent un grand nombre de milieux humides. Le paysage de ces MRC fait en sorte qu'il est difficile d'identifier des zones d'intérêt. Comme l'autoroute 20 accueille un débit important de véhicules (MTQ, 2018b) et que les habitats de part et d'autre sont plus fragmentés, il se pourrait que les déplacements soient localisés. Une étude de connectivité dans cette région pourrait être intéressante (zone 1H). Un autre élément reste à considérer dans la MRC de Lotbinière. En effet, une zone au sud-ouest compte un habitat d'espèces menacées ou vulnérables d'importance qui est adjacent à une réserve écologique. Une attention plus particulière sera portée à cette zone dans la carte 3 (figure 6.3), mais il demeure qu'elle ressort dans l'analyse générale de la carte.

Ainsi, la carte 1 (figure 6.1) permet de cibler des zones de façon générale et arbitraire. En effet, il est difficile d'identifier des secteurs problématiques sur ce territoire en raison de l'étendue de la forêt, mais également en raison de la méthode d'analyse sélectionnée. La plupart des zones identifiées (voir tableau 6.1) sont mises en évidence sur la base qu'elles ont un statut légal (MRNF, 2010) et qu'il serait donc plus facile d'assurer la pérennité des aménagements dans cette région. En effet, en aménageant un passage le long d'un territoire protégé, cela augmente la probabilité que les écosystèmes en périphérie soient conservés (contrairement à une terre privée qui pourrait être exploitée à tout moment) et améliore donc la pérennité concernant l'utilité du passage à long terme. Toutefois, l'analyse ne permet pas de prouver que plus de mortalité faunique n'a lieu dans ces régions ou que des zones en terre privée n'auraient pas la même qualité d'habitats, par exemple. En d'autres termes, les zones identifiées ne montrent pas, de façon exhaustive, les habitats d'importance au niveau de la Chaudière-Appalaches. Il demeure que, même si la carte 1 n'est pas aussi parlante qu'il aurait été souhaité, la démarche était nécessaire pour obtenir une vision régionale et globale des milieux naturels du territoire. De plus, les quelques zones soulevées sont pertinentes et pourraient être utilisées directement pour l'aménagement de passages ou servir de cibles pour des études ultérieures.

Tableau 6.1. Zones relevées par l'analyse générale de la région de la Chaudière-Appalaches

Numéro de la zone	Localisation de la zone	MRC	Justificatif	Comment utiliser la zone
1A	Route 263 et boulevard Frontenac	Sud de la MRC Les Appalaches	Réserve écologique, parc national Frontenac et EFE à proximité	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit Zone à bon potentiel pour de futures analyses (qualité d'habitat)
1B	Routes locales	Sud-est de Beauce-Sartigan	Réserve naturelle et refuge biologique	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
1C	283 (RTS : 00283-01-130)	Montmagny	Refuge biologique	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
1D	Jonction entre la 204 et la rue Principale	Montmagny	Parc régional des Appalaches	Zone à considérer en cas de travaux localisés à proximité du parc
1E	Autoroute 20 (RTS : 00020-06-200 à 00020-06-220)	Montmagny	Déplacements restreints et massifs forestiers limités	Zone à bon potentiel pour de futures analyses (connectivité)
1F	Portion nord de la 73, de la 173 et de la 277	Bellechasse et Nouvelle-Beauce	Potentiels corridors écologiques	Zone à bon potentiel pour de futures analyses (connectivité)
1G	Routes locales	Bellechasse (à proximité du parc régional du Massif du sud)	EFE, refuge biologique, réserve écologique	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit. Zone à bon potentiel pour de futures analyses (connectivité)
1H	Autoroute 20	Lotbinière et Lévis	Potentiels corridors écologiques	Zone à bon potentiel pour de futures analyses (connectivité)

6.2 Analyse pour les grands mammifères

En fonction des données disponibles, il a été déterminé qu'une carte thématique portant sur les grands mammifères pouvait être réalisée. Les données de collisions ont ainsi permis de cibler quelques zones d'intérêts à considérer pour la mise en place d'aménagements fauniques en cas d'opportunités.

Avant de débiter l'analyse, il est possible de se rappeler que les données utilisées comprennent les accidents ayant eu lieu entre 2010 et 2016 avec le cerf de Virginie, l'orignal et l'ours noir. Il ne sera donc pas possible de faire une distinction entre les zones accidentogènes pour les trois espèces précitées. Toutefois, il faut garder en tête que les données de collision sont dominées par des collisions avec le cerf de Virginie. Les tendances observées dans les résultats risquent donc de représenter davantage les patrons de collision avec cette espèce. Dans un deuxième temps, il est important de prendre en considération les catégories de densité d'accidents (densité de collisions par surface de 500 m de rayon autour de chaque cellule matricielle) qui seront tenues en compte dans l'analyse (voir explication à la section 5.6). À titre de rappel, les zones de collisions sont représentées par des points qui ont été regroupés statistiquement (algorithme de Jenks) en huit classes, selon la densité de ces dernières. Une observation générale de la carte obtenue avait permis de constater que la majorité des points se trouvaient dans les catégories 1 à 3, donc celles ayant les plus faibles densités. Ainsi, l'analyse des zones d'importance sera donc basée sur les catégories de densité 4 à 8, qui sont beaucoup moins fréquentes et plus localisées sur le territoire. Dans un premier temps, une attention particulière sera portée aux zones de grande importance (priorité 1), peu nombreuses, qui comportent la plus haute densité (catégorie 8, en rouge). En second lieu, les zones ayant une priorité moindre d'intervention (catégories 4 à 7), plus nombreuses sur le territoire (priorité 2) seront analysées.

En premier lieu, l'analyse générale de la carte 2 (figure 6.2) permet de faire ressortir que des collisions avec les grands mammifères ont lieu sur toutes les routes du réseau supérieur, et ce, à la grandeur du territoire. Les collisions ayant lieu sur les routes locales sont très ponctuelles, et beaucoup moins concentrées. Il est également possible de remarquer que peu de zones à forte densité de collisions de trouvent à l'est de la région. Cela peut s'expliquer, entre autres, par le fait que la population de cerf de Virginie est davantage confinée au sud-ouest de la région, où l'hiver est moins rigoureux. (MERN, s. d.)

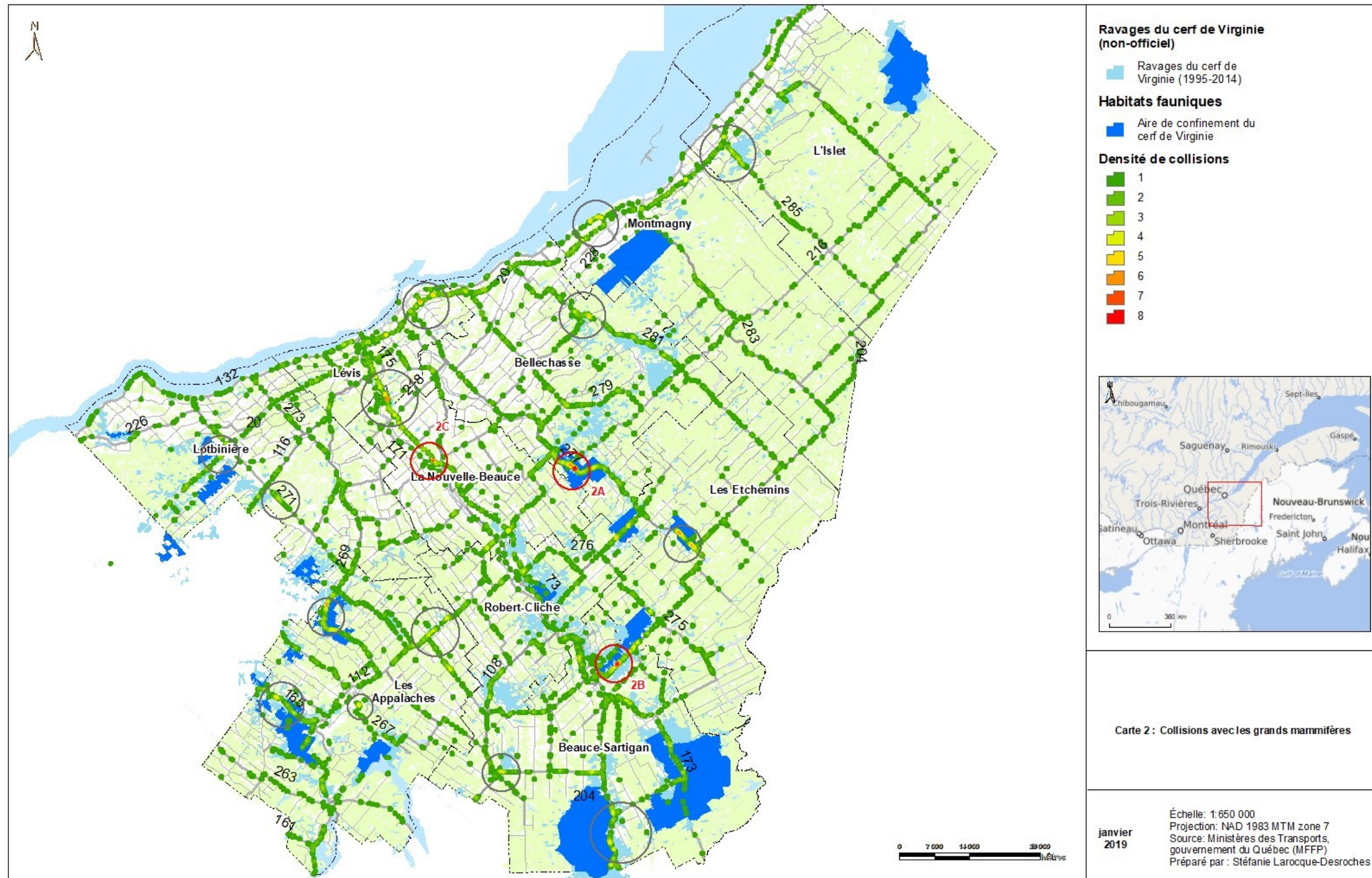


Figure 6.2 Carte des collisions avec les grands mammifères

En s'attardant à la densité des collisions, il est possible de mettre en évidence des zones prioritaires (priorité 1) à l'échelle de la région, c'est-à-dire celles qui sont classées dans la catégorie présentant la plus grande densité d'accidents (tableau 6.2). Celles-ci sont mises en évidence par des cercles rouges sur la carte 2 (figure 6.2). Deux d'entre elles (zones 2A et 2B) sont situées sur des routes traversant des habitats du cerf de Virginie (tous les ravages répertoriés), identifiés officiellement comme des aires de confinement au sens de la loi (Doyon et Fortier-Guay, 2017). Considérant que les données utilisées concernent principalement le cerf, il n'est pas étonnant que les zones accidentogènes qui ressortent soient reliées à l'habitat de cette espèce. Toutefois, l'élément intéressant à retenir est que les ravages du cerf, de façon générale, semblent être de bons indicateurs pour les zones à privilégier pour l'aménagement de passages pour cette espèce, dans l'optique de réduction des collisions routières (Lavoie et al., 2012). En effet, deux des trois zones présentant un grand nombre de collisions au même endroit se situent à l'intérieur de ces habitats. La troisième zone (2C), quant à elle, se situe au niveau de l'autoroute 73 (dans la MRC de Nouvelle-Beauce), et ne traverse pas un ravage. De plus, cette zone semble se situer dans une des portions les plus déboisées de l'ensemble du territoire, probablement très agricole (MRNF, 2010). Il se pourrait donc que cette zone soit un corridor de déplacement quelconque, entre les massifs forestiers situés à l'est ainsi que ceux situés à l'ouest du territoire pour les grands mammifères, et particulièrement pour le cerf. Si c'est le cas, cet élément viendrait appuyer la théorie avancée lors de l'identification de la zone 1F de la carte 1. La rivière Chaudière, qui longe la 73, pourrait potentiellement faire partie de l'explication pour cette zone accidentogène. Il demeure que, sans connaître la nature exacte des habitats de part et d'autre de cette zone (on perçoit seulement quelques segments forestiers fragmentés ainsi que la rivière Chaudière), il est très difficile de porter un jugement sur son origine. Le tableau 6.2 présente les détails des trois zones (tronçons routiers) d'importance étant ressorties à l'échelle du territoire et sur lesquelles l'énergie devrait être mise en priorité si des travaux étaient planifiés à ces endroits, ou à proximité.

Un peu plus nombreuses que les zones de priorité 1, les zones de moindre densité (4 à 7) sont tout de même parlantes (tableau 6.3 et figure 6.2). D'une part, le patron présenté plus haut concernant les ravages du cerf de Virginie est confirmé par l'étude des points faisant partie des catégories de densité 4 à 7. La majorité d'entre eux se trouvent également sur les tronçons routiers traversant des ravages de cerf, mis à part quelques sections de l'autoroute 73, à proximité de la zone 2C identifiée au paragraphe précédent, ainsi que plusieurs sections de l'autoroute 20. D'autre part, plusieurs zones présentent des densités de collisions considérables le long de l'autoroute 20, mais se situent en zone très urbanisée (Lévis) et très peu boisée ou en zone agricole. Encore une fois, sans davantage d'information sur les habitats à proximité, il peut être difficile d'expliquer ces patrons. Cela pourrait tout simplement être dû au fait que les débits très importants de l'autoroute 20 pourraient faire augmenter les probabilités de collisions sans que nécessairement plus d'individus tentent

de traverser à cet endroit plutôt qu'à un autre sur le territoire (P.-M. Vallée, conversations, 2018). Toutefois, pour tirer ce genre de conclusions, des études beaucoup plus approfondies seraient nécessaires.

Tableau 6.2 Zones de priorité 1 pour l'aménagement de passages fauniques pour la grande faune

Numéro de la zone	Route	MRC	Justificatif	Comment utiliser la zone
2A	277 (RTS : 00216-03-161 à 00277-01-101)	Bellechasse	Traverse un ravage du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le gouvernement provincial	Zone à considérer fortement pour l'aménagement de passages fauniques
2B	204 (RTS : 00204-01-145)	Beauce-Sartigan	Traverse un ravage du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le gouvernement provincial	Zone à considérer fortement pour l'aménagement de passages fauniques
2C	73 (RTS : 00073-02-021)	Nouvelle-Beauce	Milieu non forestier à proximité de la rivière Chaudière	Zone à considérer fortement pour l'aménagement de passages fauniques Zone à bon potentiel pour de futures analyses (explication pour la présence de cette zone accidentogène)

Le tableau 6.3 présente le détail des zones de priorité 2 sur lesquelles il serait également intéressant de porter attention si des budgets sont déployés pour l'aménagement de passages dans ces zones ou pour des analyses plus fines pour les tronçons plus longs.

Tableau 6.3. Zones de priorité 2 pour l'aménagement de passages fauniques pour la grande faune

Numéro de la zone	Route	MRC	Détails	Comment utiliser la zone
2D	73 (RTS : 00073-02-021 à 00073-02-110)	Lévis et Nouvelle-Beauce	Milieu non forestier à proximité de la rivière Chaudière	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit. Zone à bon potentiel pour de futures analyses (connectivité)
2E	20 (RTS : 00020-06-053 à 00020-06-120)	Lévis	Milieu non forestier et densément peuplé	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
2F	20 (RTS : 00020-05-150)	Lotbinière	Traverse un ravage du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le gouvernement provincial	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
2G	271 (RTS : 00271-01-225)	Lotbinière	Traverse un ravage du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le gouvernement provincial	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
2H	267 (RTS : 00267-01-040)	Les Appalaches	Traverse un ravage du cerf	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
2I	112 (RTS : 00112-05-160 à 00112-05-200)	Les Appalaches	Traverse un ravage du cerf	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit Zone à bon potentiel pour de futures analyses
2J	269 (RTS : 00269-01-200 à 00269-01-220)	Les Appalaches	Traverse un habitat du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le provincial	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit Zone à bon potentiel pour de futures analyses

Numéro de la zone	Route	MRC	Détails	Comment utiliser la zone
2K	165 (RTS : 00165-01-012)	Les Appalaches	Traverse un habitat du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le provincial	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
2L	269 (RTS : 00269-01-110)	Beauce-Sartigan	Traverse un ravage du cerf	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
2M	204 (RTS : 0020-40-1050 à 0020-40-1080)	Beauce-Sartigan	Traverse un habitat du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le provincial	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit Zone à bon potentiel pour de futures analyses
2N	277 (RTS : 00277-01-040 à 00277-01-050)	Les Etchemins	Traverse un habitat du cerf également désigné aire de confinement du cerf de Virginie par le provincial	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit Zone à bon potentiel pour de futures analyses
2O	281 (RTS : 00281-01-102)	Bellechasse	Traverse un habitat du cerf	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit
2P	132 (RTS : 00132-09-090)	Montmagny	En bordure du fleuve Saint-Laurent	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit Zone à bon potentiel pour de futures analyses
2Q	285 (RTS : 00285-01-070)	L'Islet	Traverse un habitat du cerf	Zone à considérer fortement en cas de travaux localisés à cet endroit

Pour cette carte, il est possible de conclure que de manière générale, il serait pertinent de considérer aménager des passages lorsqu'une route traverse un ravage, puisqu'ils ont tous, ou presque, des zones de collision de priorité 1 ou 2. De plus, comme assurer la sécurité des usagers fait partie de la mission du MTQ (MTQ, 2018a), ces zones sont d'autant plus importantes étant donné qu'elles sont celles avec les plus fortes densités d'accidents sur le territoire. Pour les autres zones, elles mériteraient potentiellement l'aménagement de passages, mais également des études plus approfondies pour mieux comprendre la raison des collisions.

6.3 Zones à cibler pour des espèces aquatiques de milieux humides

Comme mentionné dans la méthodologie, la carte 3 (figure 6.3) représente l'ensemble des milieux humides de la région. Afin de faciliter l'analyse, les milieux humides se trouvant dans un rayon de 50 m du réseau routier ont été illustrés d'une couleur différente. Il a été choisi de sélectionner les milieux humides inclus dans une certaine zone tampon puisque même les espèces les moins mobiles, comme les amphibiens, peuvent migrer sur plusieurs dizaines, voire centaines de mètres (Société d'histoire de la vallée du Saint-Laurent (SHVSL), 2015). Une gradation a également été réalisée pour ces mêmes milieux afin qu'ils puissent être distingués par leur taille. Il faut noter que la plupart des écosystèmes humides adjacents (distance de 0 m les séparant) ont été fusionnés afin de ne montrer qu'un grand polygone. Ainsi, la plupart des milieux représentés sont en fait des mosaïques de milieux humides. Il faut toutefois considérer qu'il n'a pas été possible de fusionner les polygones se trouvant à moins de 50 m (1 m à 50 m) les uns des autres (généralement fusionnés aux mosaïques en raison de la faible distance les séparant) afin de les inclure dans les mosaïques (Coulombe et Nadeau, 2013). Il se pourrait donc que la taille de certains milieux humides illustrés ne soit pas exacte.

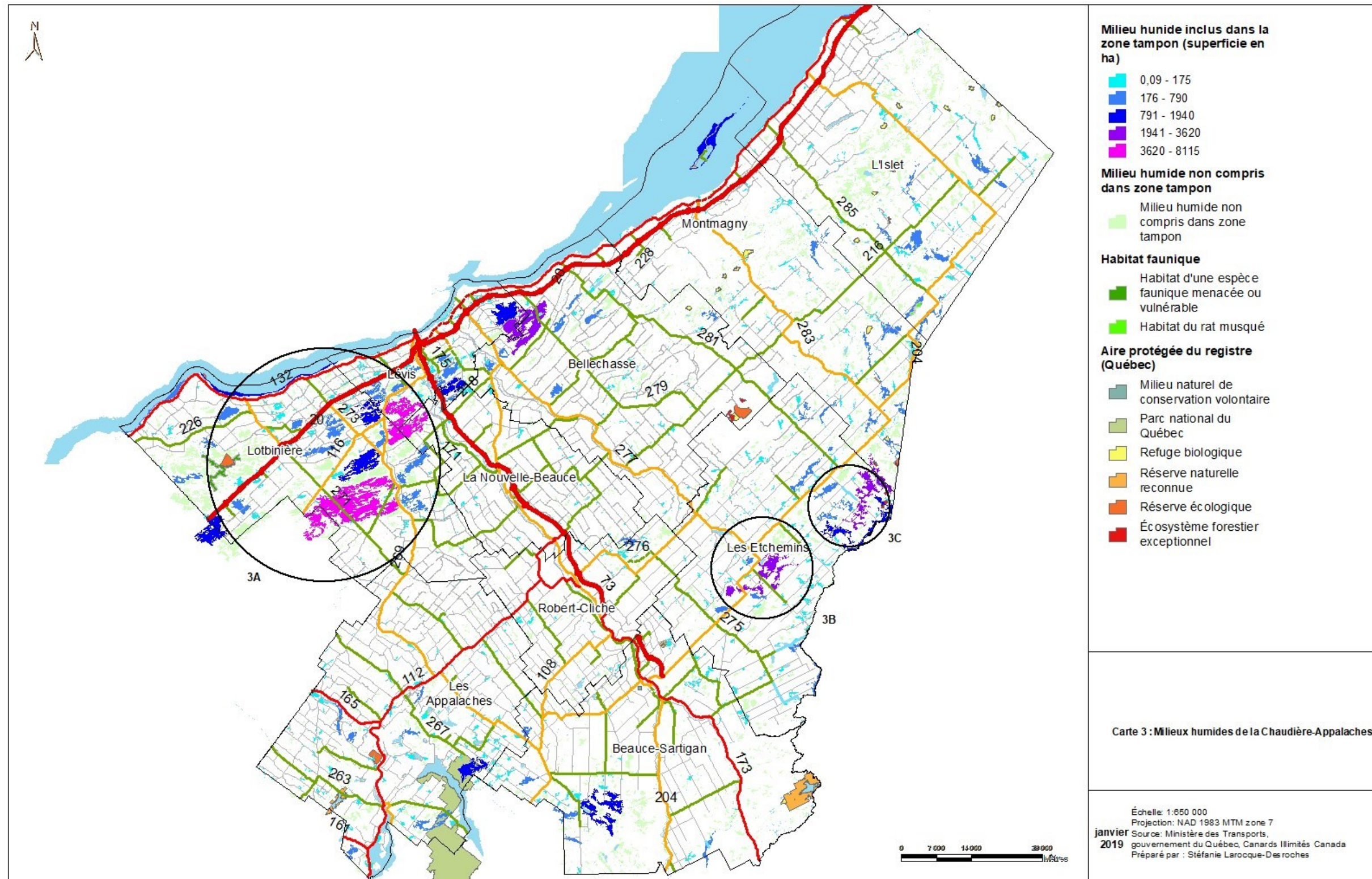


Figure 6.3 Carte des milieux humides de la Chaudière-Appalaches

Dans la même optique que pour la carte 1, il n'est pas possible de cibler des zones de manière aussi précise et avec autant de certitude que pour les grands mammifères en raison du manque de données empiriques et, bien qu'ils soient localisés, du grand nombre de milieux humides de la région. Toutefois, il est tout de même possible de porter une réflexion sur le territoire, de cibler des secteurs (tableau 6.4) plus généraux et d'avoir une réflexion à échelle des MRC dans l'optique d'émettre des recommandations pour de futures analyses.

À échelle régionale, et sans considérer les codes de couleur, la carte 3 (figure 6.3) permet de visualiser que la Chaudière-Appalaches est sillonnée dans son entièreté par des milieux humides, mais que certains secteurs, comme décrits dans le portrait du territoire, possèdent des mosaïques de milieux humides plus denses et de plus grande ampleur en raison des sols et de la topographie (MRNF, 2010). C'est le secteur au nord-ouest de la région, comprenant en partie les MRC de Lotbinière, Lévis, Nouvelle-Beauce et Bellechasse, qui ressort comme la zone où le réflexe d'aménager des passages ou de procéder à des analyses plus poussées devrait être systématique si des travaux sur des ponts ou ponceaux y ont lieu (zone 3A). On retrouve dans ce secteur une grande concentration de mosaïques de milieux humides de très grande taille fragmentée par plusieurs routes à fort débit routier et qui comprennent des habitats pour le rat musqué et des habitats d'espèces menacées ou vulnérables protégés. Considérant que la richesse augmente généralement avec la taille du milieu (Coulombe et Nadeau, 2013; Gratton, 2010), il y a possibilité que des aménagements dans cette région fassent une plus grande différence en termes de réduction de la mortalité causée par les routes qu'un aménagement qui serait réalisé sur une route locale dans un milieu humide de trois hectares, par exemple. De plus, un habitat d'espèces fauniques menacées ou vulnérables ainsi qu'une réserve écologique se trouvent au sein de ces mosaïques de milieux humides. Ainsi, compte tenu de tous les arguments précités, ce sont pour ces milieux pour lesquels le poids des arguments serait le plus grand pour attribuer du financement à des études plus approfondies.

Il demeure que, comme mentionné dans Gratton (2010), un milieu humide d'un hectare peut avoir le potentiel de soutenir des populations permanentes de rats musqués ou d'herpétofaune. Ainsi, outre les grandes mosaïques du nord-est de la région, tous les autres milieux humides qui sont traversés par des routes pourraient avoir une certaine importance et représenter des zones avec un certain taux de mortalité faunique. Toutefois, à défaut, encore une fois, de posséder des données empiriques, la sélection doit se baser sur la taille du milieu, l'ampleur de la route qui traverse le milieu et la présence d'aires protégées. Pour les MRC de L'Islet, Montmagny et Les Appalaches, il est très difficile de porter un jugement sur les milieux humides prioritaires compte tenu du fait qu'ils sont très nombreux, que leur taille varie et que l'envergure des routes qui les traversent varie. Ainsi pour ces MRC, il semblerait plus logique de prendre en compte l'ensemble des milieux humides identifiés et d'y aller à la pièce lorsque des travaux auront lieu sur les routes de ces

MRC. Il peut également être intéressant d’aller vers des analyses plus poussées pour tenter de prioriser de façon plus éloquente (qualité du milieu, par exemple).

La MRC Les Etchemins compte une concentration de milieux humides intéressante. Une zone, située à l’intersection des routes 204 et la 277 est constituée de plusieurs milieux humides de bonne taille entrecoupés par des routes du réseau supérieur (zone 3B). On trouve la même chose un peu plus à l’est de la MRC, mais dans ce cas, la mosaïque est plutôt traversée par des routes locales (zone 3C). Le centre de la région (Nouvelle-Beauce et Robert-Cliche) est quant à lui beaucoup plus dénudé en milieux humides. Il n’est d’ailleurs pas possible de faire ressortir de zones particulières. Pour la MRC de Beauce-Sartigan, une seule zone attire plus particulièrement l’attention, et chevauche une route collectrice ainsi que quelques routes locales.

Tableau 6.4 Zones relevées par l’analyse des milieux humides de la Chaudière-Appalaches

Numéro de la zone	Localisation de la zone	MRC	Justificatif	Comment utiliser la zone
3A	Nord-ouest de la région	Lotbinière et Lévis (principalement)	Très grandes mosaïques entrecoupées de routes majeures et présence d’un habitat d’espèces fauniques menacées ou vulnérables ainsi qu’une réserve écologique	Zone à bon potentiel pour de futures analyses (qualité de l’habitat et connectivité)
3B	Jonction entre la 204 et la 277	Les Etchemins	Mosaïque de bonne taille entrecoupée de routes majeures	Zone à bon potentiel pour de futures analyses (qualité de l’habitat et connectivité)
3C	Routes locales	Est de la MRC Les Etchemins	Mosaïque de bonne taille entrecoupée de routes locales	Zone à bon potentiel pour de futures analyses (qualité de l’habitat et connectivité)

Bien qu’en considérant la taille des milieux humides, il y ait probabilité que la biodiversité soit beaucoup plus grande (Gratton, 2010) et que les routes aient un impact sur potentiellement plus d’individus, il faut garder en tête que ces éléments ne sont pas nécessairement corrélés. Outre les très grandes mosaïques de milieux humides qui constituent une zone de biodiversité très importante pour la région (MRNF, 2010), il demeure que l’analyse est grossière et qu’une analyse plus raffinée permettrait d’obtenir des résultats plus précis pour chaque MRC. En effet, en zoomant, il a été possible de constater qu’un trop grand nombre de milieux humide de différentes tailles étaient sillonnés par le réseau routier, ce qui fait en sorte, encore une

fois, qu'il est difficile de prioriser ou cibler. La carte 3 pourra donc principalement servir de référence lors de travaux routiers, afin de vérifier l'ampleur de la mosaïque touchée par les travaux. Des analyses plus fines, ou utilisant des données plus précises, comme des données de carcasses ou d'occurrence, pourraient potentiellement permettre d'obtenir des résultats similaires à ceux obtenus pour les grands mammifères.

6.4 Conclusions générales

La présente sous-section se veut un récapitulatif des trois cartes présentées précédemment, afin de faire le lien avec les objectifs spécifiques qui avaient été détaillés au chapitre 5. Une carte mettant en commun toutes les zones à prioriser identifiées aux sections précédentes a également été produite (figure 6.4) afin de vérifier les superpositions et les régions où porter une plus ou moins grande attention.

Avant de débiter, il est important de noter qu'aucun ordre de priorité n'a été accordé aux différentes zones identifiées en fonction de la tenure des terres ou du débit routier. Comme la précision des zones identifiées à partir des cartes 1 et 3 (figures 6.1 et 6.3) n'était pas très grande, il n'a pas été jugé pertinent de les prioriser entre elles. En ce qui concerne les zones ciblées avec la carte 2 (figure 6.2), la priorité a été seulement basée sur la densité puisque la superposition aux couches de tenure des terres n'était pas concluante.

Ainsi, il est possible de conclure que les résultats répondent relativement bien au premier objectif, qui faisait le lien avec la sécurité routière. En effet, l'analyse des données a permis de faire ressortir plusieurs points sur le réseau routier présentant une plus forte densité d'accidents. Il apparaît donc qu'à l'échelle du territoire, lorsque des travaux sur des ouvrages présents à l'intérieur de ravages du cerf de Virginie et présentant les critères nécessaires au passage de la grande faune ont lieu, la liste des tronçons routiers des tableaux 6.2 et 6.3 devrait être consultée. Le nord de l'autoroute 73 et l'autoroute 20 à la hauteur de la MRC de Lévis et de Montmagny et le segment de la 132 également inclus dans la MRC de Montmagny devraient être soumis au même type de réflexion. D'ailleurs, ces derniers segments routiers ont également été mis en évidence à la carte 1, comme présentant un potentiel pour des études approfondies sur la connectivité ou la qualité de l'habitat, ce qui les rend d'autant plus intéressants. Ce point ressort d'ailleurs sur la carte 4 (figure 6.4) où on peut remarquer que plusieurs zones identifiées pour la grande faune (carte 2) ou alors identifiées comme zone d'intérêt à l'échelle de la région (carte 1) se superposent.

Il va de soi, en regardant les résultats, que les tronçons identifiés à proximité ou à l'intérieur d'aires protégées, autant en milieu forestier qu'en milieu humide, doivent être considérés pour des études de caractérisation ou pour l'aménagement de passages. Il serait d'ailleurs possible de mettre l'emphase sur la zone 3C de la carte 3, qui est localisée à proximité des EFE (non listés au tableau 6.4 en raison de leur petite taille) de la MRC Les Etchemins.

L'ensemble des travaux effectués sur le réseau routier de la MRC de Lotbinière et la Ville de Lévis devraient faire l'objet d'études ou du moins de réflexions pour l'aménagement de passages adaptés aux espèces de milieux humides en raison de la richesse des mosaïques ou aux grands mammifères en raison des quelques zones à plus forte densité d'accidents identifiées dans deux régions du territoire. La carte 4 (figure 6.4) montre encore ici des superpositions de zones à prioriser, ce qui augmente d'autant plus l'importance et le poids argumentaire pour porter une attention particulière à Lotbinière et Lévis.

Finalement, la carte 4 permet de mettre en évidence qu'outre la MRC de l'Islet et Robert-Cliche, toutes les MRC de la région comportent plusieurs zones sur lesquelles porter une attention particulière, autant sur le réseau supérieur que sur le réseau local. Cet élément met donc en évidence l'importance de consulter l'outil cartographique développé lors de nouveaux travaux, peu importe leur localisation, afin de vérifier s'ils se trouvent dans une ou plusieurs zones identifiées.

Voici donc quelques conclusions globales à retenir :

- Les travaux sur les grands axes autoroutiers (la 20 et la 73), vu la densité de véhicules qui y circulent, devraient faire l'objet d'analyses systématiques ou d'aménagements plus fréquemment;
- Les MRC de Lotbinière et de Lévis, avec les écosystèmes particuliers et les zones de collisions avec les grands mammifères qu'elles présentent, mais également la fragmentation et la pression importantes auxquelles elles sont soumises, devraient recevoir une attention particulière;
- L'aménagement de passages, ou du moins des analyses plus poussées devraient être plus systématiques au niveau des tronçons traversant un ravage du cerf de Virginie;
- Les travaux sur les structures présentent sur le réseau routier local ne devraient pas être négligés en raison des nombreux milieux humides ou aires protégées qu'il traverse.

Des recommandations plus spécifiques et détaillées seront présentées au chapitre 7.

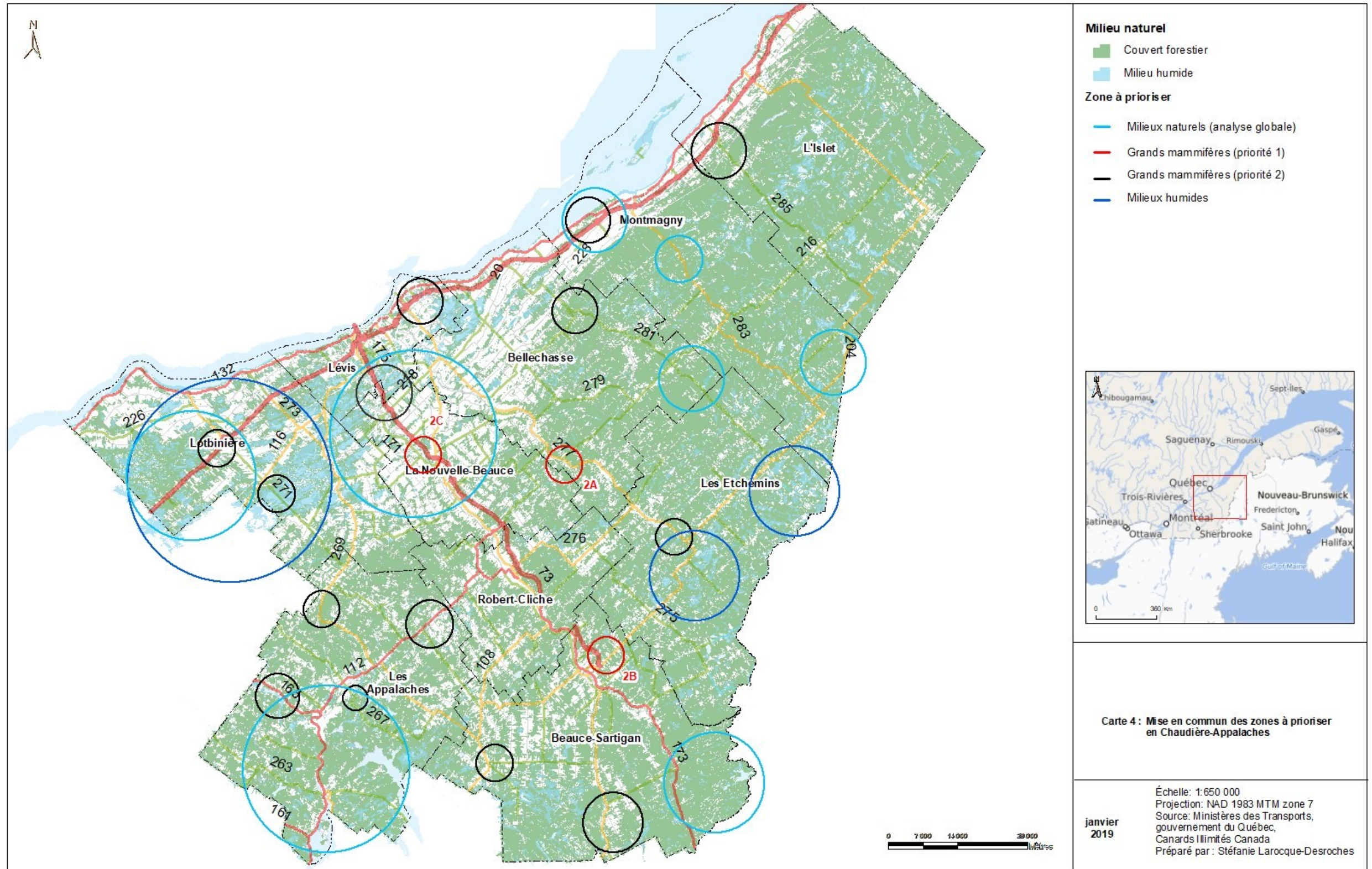


Figure 6.4 Mise en commun des zones à prioriser pour la région de la Chaudière-Appalaches

7. RÉTROACTION SUR LA MÉTHODOLOGIE ET RECOMMANDATIONS

Maintenant que la méthodologie a été élaborée et testée, il est possible de prendre du recul et de tirer des conclusions sur les erreurs à éviter et les points positifs ou les éléments à améliorer. De plus, les recherches, les observations réalisées et les résultats obtenus permettent d'évaluer la problématique dans son ensemble et d'en tirer des recommandations générales à adresser aux acteurs impliqués. Le présent chapitre fera un tour d'horizon sur les différentes étapes réalisées au cours de l'essai, afin d'en tirer une rétroaction et des recommandations.

7.1 Retour sur le processus d'élaboration d'une méthodologie

La présente section expose les deux grandes difficultés rencontrées au cours du processus d'élaboration de l'essai. En effet, un retour est effectué sur les objectifs spécifiques du chapitre 2, dont certains ont été difficiles à réaliser. Les recommandations qui en seront tirées pourront servir de modèle afin que les erreurs commises ne soient pas répétées dans le cas où une méthodologie semblable devait être élaborée à nouveau. Les recommandations portant sur l'amélioration de la méthodologie elle-même (chapitre 4) seront traitées à la section 7.2.

Il a été constaté, au fil de l'avancement du projet, qu'il était facile de se perdre dans plusieurs directions durant d'élaboration d'une méthodologie, particulièrement lorsqu'elle implique des étapes nécessitant des connaissances très spécifiques et que l'auteure n'est pas spécialisée dans ce domaine (c.-à-d. analyses géomatiques). La méthodologie élaborée au chapitre 4 a émergé d'un long processus d'essais-erreurs entremêlant revue de littérature, rencontres avec les experts de la DGCA et tests géomatiques. En effet, comme les concepts de la littérature demeuraient flous avant de les avoir testés avec un logiciel comme ArcGIS, cette dernière était difficile à avancer. De plus, lorsqu'il a été convenu de commencer les analyses des couches d'information géomatique, trop de temps a été dédié aux essais-erreurs avant de revenir compléter la revue de littérature. Cela a fait en sorte qu'il était difficile, après coup, d'ajouter de nouveaux éléments trouvés dans diverses études, vu le stade d'avancement important des analyses. D'ailleurs, ces allers-retours entre la littérature et les analyses avaient été entamés au départ dans le but d'accélérer le processus, mais ils ont plutôt fait perdre du temps. Bien entendu, il est normal de faire des tests et des essais lorsqu'on élabore une méthode propre à un contexte. Toutefois, une meilleure structure ou un fil conducteur général au sujet des expérimentations aurait pu mieux guider ce processus. En effet, il aurait été préférable de passer aux essais avec les données d'information géomatique dès que la revue de littérature commençait à stagner, puis de revenir immédiatement à la revue de littérature lorsque la visualisation des données avait permis de clarifier le processus.

Une autre erreur qui a été commise concerne l'inclusion d'un trop grand nombre de personnes à des étapes trop prématurées du projet. Étant donné que l'auteur de l'essai était à l'emploi du Ministère et que ce dernier était rédigé dans un contexte où le résultat se voulait directement utile pour des experts en environnement du MTQ, plusieurs personnes étaient impliquées dans le projet au départ, et il était plus difficile de tenir compte à la fois de plusieurs opinions et des divers enjeux qui n'avaient pas été listés dès le départ. Une consultation des membres de l'équipe à des niveaux d'avancement du processus non stratégiques a provoqué des changements de direction et remises en question qui auraient pu être évités.

Finalement, comme il est possible de le constater au chapitre 4, l'emphase a été mise sur l'importance d'élaborer des objectifs spécifiques dès que les enjeux ont été listés. Cette étape, également suggérée dans plusieurs projets (Blais, 2018; Leclair et Blais, 2015), est très importante puisqu'elle permet de cadrer les résultats souhaités, et donc, les analyses. Cet élément a, en effet, posé problème dans le processus. Il aurait été préférable de poser les objectifs rapidement, plutôt que de les fixer après avoir complété une partie des analyses. Cela aurait évité de revenir en arrière plusieurs fois, de remettre en question les analyses et d'ajuster sans cesse les objectifs.

Voici donc quelques recommandations qui auraient pu améliorer l'efficacité de l'élaboration de la méthodologie :

- Prévoir un temps maximal pouvant être alloué aux essais-erreurs du processus (tests géomatiques, par exemple) et passer à une autre étape plutôt que de s'acharner, afin de faciliter la formulation des objectifs spécifiques plus tôt dans le processus.
- Présenter une suggestion d'objectifs spécifiques préalablement élaborés en connaissance de cause (enjeux, limites, cadre théorique) pouvant être atteints facilement par l'équipe de la DGCA, et éviter de partir dans toutes les directions en présentant des bribes d'informations à trop de gens à des moments non stratégiques du processus.

7.2 Rétroaction sur la méthodologie développée

La présente section consiste en une rétroaction sur la méthodologie élaborée ainsi que les résultats qu'elle a permis d'obtenir. L'idée est, entre autres, d'évaluer la qualité et la pertinence des résultats obtenus en les comparant aux objectifs de base, afin d'évaluer l'efficacité de cette méthodologie. Ce tour d'horizon permettra d'émettre des recommandations qui amélioreront cette dernière.

La priorisation des techniques d'analyse en fonction des enjeux du MTQ visait à réduire, justement, le nombre de techniques parmi lesquelles faire un choix lors de l'application de la méthodologie par une DGT. Comme la priorisation avait mis l'accent sur des analyses simples (sélection visuelle d'habitats et/ou de corridors écologiques, l'analyse de densité de collisions et l'analyse par filtre grossier et filtre fin), l'étude

de cas consistait donc, à un certain point, en un test afin de vérifier si une technique d'analyse simple permettrait d'obtenir des résultats suffisamment pertinents pour couvrir les différents enjeux soulevés et atteindre les objectifs de départ. Également, comme la méthodologie laissait assez de liberté quant aux choix des données ou des espèces, selon le type d'analyse choisi, l'étude de cas visait également à vérifier si d'autres étapes de la méthodologie auraient nécessité des précisions.

Ainsi, à titre de rappel, les objectifs pour la Chaudière-Appalaches étaient de cibler des zones de présence faunique potentielle d'importance qui permettraient d'agir sur l'ensemble des impacts des routes sur la faune et/ou permettraient d'améliorer la sécurité routière. Afin d'arriver à ces objectifs, il avait été choisi, comme l'illustre le plan d'analyse, de se concentrer sur trois catégories d'espèces : la grande faune, la moyenne faune terrestre et la faune aquatique ou semi-aquatique (autre que l'ichtyofaune). L'échelle d'analyse, soit la région entière, avait été sélectionnée principalement en raison du contexte où les aménagements sont réalisés à coup d'opportunité, c'est-à-dire lorsque des travaux ont lieu sur des sites très ponctuels. En ayant une vision globale du territoire, il devenait plus facile pour les experts en environnement des DGT de valider ou comparer la localisation des travaux à venir, puis de faire des choix quant aux meilleurs sites pour aménager des passages. En gardant en tête tous ces éléments, il est possible d'évaluer si la méthodologie développée est judicieuse.

D'abord, les résultats obtenus ont montré qu'une analyse visuelle sur un territoire très boisé est plus ou moins pertinente. En effet, dans un territoire fragmenté et à plus petite échelle, il peut être possible de cibler les derniers habitats à conserver ou des alignements d'écosystèmes qui pourraient servir de corridors écologiques (Cormier et al., 2012). Toutefois, dans le cas précis de la Chaudière-Appalaches, le couvert forestier ne permettait pas de tirer suffisamment de résultats concluants. Ensuite, à échelle régionale, il est apparu que cibler des habitats pour des catégories d'espèces précises, sans donnée empirique reliée à la faune, est très difficile, d'autant plus qu'il est très complexe d'obtenir ce type de données pour un territoire aussi grand (région administrative entière) (Clevenger et Wierzchowski, 2006; P.-M. Vallée, conversations, 2019). L'analyse des données de collisions par regroupement de densité s'est révélée, quant à elle, beaucoup plus concluante. Ainsi, outre les zones ciblées pour les grands mammifères, qui découlent de données d'occurrences, il a été très difficile de cibler avec certitude des zones d'intérêt pour d'autres catégories d'espèces.

Plus précisément, pour les grands mammifères, le choix d'analyse et l'échelle sélectionnée étaient relativement judicieux puisque des données empiriques étaient disponibles et que leur domaine vital est grand. En effet, lorsque l'échelle d'analyse se rapproche de l'échelle à laquelle se déploie le domaine vital d'une espèce, il est plus facile de tirer des résultats représentatifs de leur répartition, sans manquer d'opportunités (Clevenger et Wierzchowski, 2006). Les résultats obtenus pour la grande faune sont donc

satisfaisants puisque les zones identifiées permettent de visualiser si les travaux d'une ampleur permettant la mise en place d'aménagements pour la grande faune se situent dans un secteur présentant une densité importante de collisions. On obtient donc une idée des tronçons d'importance, tout en gardant un visuel sur les tronçons présentant une moins grande densité d'accidents. C'est d'ailleurs parce que les grands mammifères voyagent sur des kilomètres que l'aménagement d'un passage faunique à une certaine distance des points identifiés, par exemple, pourrait fonctionner, s'il est jumelé à des clôtures. (Clevenger et al., 2003; Clevenger et Huijser, 2011; Gratton, 2014; Lavoie et al., 2012)

Toutefois, en ce qui concerne l'identification des zones pour les taxons autres que les grands mammifères, l'échelle régionale jumelée à la précision faible de la technique d'analyse et au territoire se prêtant peu à une analyse visuelle ne permettaient pas d'arriver à des résultats optimaux. Les cartes laissent, en effet, voir une quantité difficilement analysable d'habitats préférentiels (milieu forestier et milieux humides). De plus, ces derniers sont généralement plus grands que le domaine vital moyen d'un animal faisant partie des catégories ciblées, autres que celle de la grande faune (Clevenger et Huijser, 2011; Gratton, 2014). Dans l'optique où l'analyse géospatiale des couches de milieux naturels avait été précisée, c'est-à-dire si des zones naturelles avaient été éliminées en se basant sur des critères généraux comme la taille des milieux humides ou celle des massifs forestiers, des opportunités auraient pu, au contraire, être perdues, vu la petite taille de certains habitats d'importance. Ainsi, il apparaît donc que les zones ciblées autres que les sites accidentogènes avec les grands mammifères donnent une vue d'ensemble des regroupements d'habitats généraux aux abords des routes, sans plus de détail. Le fait est que les résultats ne représentent pas nécessairement l'ensemble d'espèces sélectionné, particulièrement dans le cas de la moyenne faune. Ainsi, plutôt que de dire que les analyses avaient pour but de cibler des habitats pouvant être pertinents pour la moyenne faune ou la faune aquatique ou semi-aquatique, il aurait simplement suffi de cibler des habitats pouvant convenir à un plus grand nombre d'espèces possibles. Il est d'ailleurs possible de remarquer, au chapitre 3, que les études faites à cette échelle ne se concentrent pas sur des catégories d'espèces, mais plutôt sur des espèces précises. Il faut d'ailleurs noter que le choix des ensembles d'espèces sélectionnées autres que celle des grands mammifères a été en partie basé sur les guildes de mouvement proposées par Gratton (2014) et se voulait représentatif de la faune de la région. Cependant, ce choix n'était peut-être pas pertinent justement parce que leur étude était effectuée à échelle d'un tronçon routier et consistait à cibler des corridors écologiques en se basant sur les types de déplacement des espèces. De plus, comme mentionné plus haut, ce type de données est généralement peu disponible à l'échelle d'analyse sélectionnée, ce qui fait en sorte de remettre en question davantage le choix des catégories d'espèces. Outre les groupes d'espèces, il demeure que, même si cet élément avait été différemment abordé, l'analyse visuelle sur un territoire comme la Chaudière-Appalaches n'est pas efficace.

Si certains choix effectués au cours de l'application de la méthodologie avaient été différents, cela aurait potentiellement pu augmenter le niveau de précision. En ciblant des espèces indicatrices, ou représentatives de groupes d'espèces, cela aurait potentiellement pu permettre de cibler quelques critères et préciser davantage les cartes en facilitant les tris dans les tables d'attributs des couches utilisées (types de milieu forestier, types de milieux humides, taille, perturbation, taille, etc.) (Cormier et al., 2012). Une analyse plus précise, sur des espèces cibles, aurait peut-être appuyé la pertinence et la validité de certaines zones davantage qu'avec une analyse moins précise, comme celle sélectionnée dans le présent essai. Toutefois, même en ciblant des habitats d'espèces indicatrices, cela demeure théorique, donc avec un poids argumentaire plus faible qu'une donnée empirique qui prouve une présence plus importante dans un tronçon routier, par exemple. De plus, comme les objectifs étaient généraux, justement dans le but de ne pas exclure certains taxons, il aurait pu être très complexe de cibler les bonnes espèces indicatrices.

La pertinence des données empiriques est bien soulevée par la présente section. Considérant que la majorité des zones ont été identifiées sans données spécifiques d'occurrences, cela fait en sorte que ce ne sont que des probabilités de présence, d'où l'importance d'aller préciser les résultats obtenus avec des études plus spécifiques, dans certains cas (voir section 7.3). Des données de carcasses pour l'ensemble des espèces récupérées le long des routes auraient pu contribuer à augmenter fortement la précision et la simplicité des analyses. En effet, les résultats liés à la grande faune ont été obtenus facilement et, bien que non exhaustifs, ils donnent une idée des patrons de présence sur le territoire et ne nécessitent pas d'études ultérieures très poussées.

Les différentes difficultés soulevées dans cette section découlent de l'étape 6 de la méthodologie, qui laisse beaucoup de liberté en ce qui concerne les choix à faire puisque ces derniers seront propres à chaque la DGT. Cela peut faire en sorte que les choix effectués ne seront pas parfaitement optimaux, comme dans le cas présent. Cela donne toutefois l'opportunité d'émettre certaines recommandations par rapport aux choix qui ont été effectués dans le contexte de l'étude de cas. Voici diverses recommandations et éléments qui pourraient être précisés dans la méthodologie si elle était appliquée dans un contexte où les objectifs spécifiques étaient les mêmes :

- À échelle régionale, éviter de cibler des guildes ou catégories d'espèces utilisant différents domaines vitaux dans une analyse visuelle, c'est inutile. Viser plutôt l'identification d'habitats et des corridors écologiques représentatifs du plus grand nombre d'espèces, ou pouvant contenir une grande biodiversité.
- L'étape 5 de la méthodologie est très importante. Il est primordial de vérifier le type de milieu dans lequel sera appliquée la méthodologie. Il faudrait éviter les analyses visuelles sur un territoire très boisé, puisqu'elles ne sont pas suffisamment précises pour discriminer les différents habitats d'un

même territoire. Dans ce cas, il serait préférable de colliger des données d'occurrence pour une diversité d'espèces (données de chasse, carcasses) si on désire conserver un niveau de difficulté d'analyse semblable, c'est-à-dire assez simple.

- Utiliser une échelle d'analyse plus fine si l'objectif est spécifiquement de réduire la mortalité de la moyenne faune et que des résultats plus précis sont désirés.

Outre ces éléments à considérer, il pourrait être intéressant de se questionner, avant d'appliquer la méthodologie, sur le niveau de précision désiré pour les résultats. En effet, si des résultats très précis sont voulus, les analyses visuelles doivent être évitées et le traitement des données pourrait être donné à mandat à des firmes spécialisées. Il serait préférable, dans ce cas, de viser une analyse du type IQH pour les habitats et corridors de moindre coût en absence de données empiriques (résultats d'inventaires, carcasses, etc.) (Blais, 2018; CIMA+, 2018).

Ce retour sur les résultats permet également de mettre en lumière un élément très important qui devrait être considéré par le MTQ, et qui permettrait de cibler très facilement les zones d'intérêt pour la mise en place de passages pour une variété d'espèces sensibles :

- Récolter davantage de données sur les carcasses des espèces ayant été frappées par des véhicules autres que les grands mammifères.

Pour conclure cette section, il est possible de constater que les résultats obtenus permettent tout de même, à un niveau de précision faible, de cibler des zones à considérer pour la mise en place de passages fauniques. Comme les résultats se voulaient davantage une vue générale permettant de se donner une idée des régions sur lesquelles porter une attention particulière et d'un guide pour de futures réflexions ou études à réaliser, il est possible de conclure que les objectifs ont été atteints pour la DGCA. Dans la mesure où une autre DGT désirait obtenir un meilleur niveau de détail, les recommandations citées précédemment compléteraient bien la méthodologie présentée au chapitre 4.

7.3 Recommandations pratiques : étude de cas

Outre les éléments présentés à la section précédente, les cartes obtenues dans le cadre de cet essai permettent, à certains niveaux, de guider les réflexions pour de futures études et de cibler des zones d'intérêt où considérer l'aménagement de passages en cas d'opportunités. En se fiant aux résultats obtenus, cette section se concentrera donc sur diverses recommandations à appliquer pour de futures analyses ou sur le terrain, pour le territoire de la Chaudière-Appalaches. Voici donc une série de recommandations techniques et théoriques.

7.3.1 Recommandations techniques

Comme il fut présenté au chapitre 1, les passages fauniques sont généralement mis en place à la pièce, lorsque des opportunités se présentent. De plus, au MTQ, il n'existe pas d'enveloppe financière récurrente, dédiée à l'aménagement de passages fauniques. Il faut donc que les experts en environnement au sein des DGT aient entre les mains des arguments pour justifier divers aménagements spécifiques à la faune. Ces experts doivent également être en mesure de pouvoir comparer les différentes opportunités et de les prioriser entre elles, afin d'effectuer les choix les plus judicieux possible.

Avec les résultats du chapitre 6 entre les mains, il est suggéré de tenir compte des éléments suivants.

D'abord, comme il a été mentionné à quelques reprises dans les études citées au chapitre 3 (Clevenger, 2012), l'emplacement optimal pour disposer les passages ou aménagements n'est pas nécessairement l'endroit exact où la faune subit le plus de collisions. Ainsi, avec les résultats obtenus pour la grande faune, il serait possible de justifier la mise en place d'aménagements particuliers au niveau des ravages du cerf, si, bien entendu, les travaux prévus ont lieu à un site de forte densité de collisions, mais également à l'intérieur de quelques kilomètres (Lavoie et al., 2012; Vallée, et al., 2019) de cette zone. En effet, comme l'ont montré certaines études effectuées en Chaudière-Appalaches, la localisation du passage est importante, mais les clôtures le sont également. Sur l'un des tronçons de l'autoroute 73 qui traversaient un ravin de cerfs, une clôture de 6,3 km avait été mise en place et cinq passages inférieurs ainsi que 30 sautoirs y avaient été insérés. Ainsi, le point de forte densité de collision pourrait servir d'indicateur pour de futures études plus approfondies concernant la longueur de clôtures à mettre en place à partir du passage aménagé à l'endroit présentant une opportunité. (Lavoie et al., 2012; Vallée et al., 2019) D'ailleurs, comme des résultats assez révélateurs ont été obtenus dans le présent essai sur l'emplacement des zones à forte concentration, c'est-à-dire à proximité ou à l'intérieur des ravages de cerfs de Virginie (Lavoie et al., 2012), il serait possible pour les experts de la DGCA d'utiliser les cartes comme argument pour obtenir des budgets plus systématiquement dès que l'ouvrage est situé en plein cœur d'un ravin de cerf. Il est également intéressant de noter que les ravages, lorsqu'officiellement reconnus comme des aires de confinement du cerf de Virginie par la loi, présentent un poids argumentaire doublement convaincant (Hébert, et al., 2013; MRNF, 2010).

En ce qui concerne les autres zones identifiées hors des ravages pour les grands mammifères, l'aménagement de passages devrait également être fortement considéré à ces endroits ou à proximité, selon les opportunités. Toutefois, comme l'explication derrière ces densités de collisions n'est pas connue, des études plus approfondies sur la présence faunique et les habitats à proximité devraient être réalisées afin d'adapter le passage aux espèces touchées (orignal, cerf ou ours noir).

Finalement, un principe semblable pourrait être appliqué pour les sites autres que les aires de confinement également protégées par l'État. En effet, les travaux sur les ouvrages à proximité ou l'intérieur de ces zones devraient faire l'objet d'aménagements étant donné leur valeur écologique et leur statut légal (MELCC, 2018b), qui facilite le maintien de la pérennité des aménagements. Toutefois, elles devraient également faire office d'analyse plus poussée quant aux types d'habitats à proximité ou à la présence faunique afin d'adapter les passages aux espèces présentes.

Outre ces arguments plus spécifiques, il est facile de remarquer, particulièrement en se fiant à la carte 2 (figure 6.2), que les traversées de grands mammifères ont lieu à une multitude d'endroits sur le territoire, même si la densité d'accidents est plus faible. En effet, comme le montrait la carte 2 (figure 6.2), les accidents avec les grands mammifères, principalement le cerf de Virginie, se produisent sur à peu près toute la longueur des axes majeurs de la région. Si ce patron est observé pour les grands mammifères, qui sont représentés par peu de taxons en Chaudière-Appalaches (MRNF, 2010) et qui utilisent des types d'habitats assez spécifiques, il serait d'autant plus plausible que les collisions avec les taxons autres (moyenne et petite faune) qui sont représentés par un plus grand nombre d'espèces utilisant une grande diversité d'habitats soient autant, sinon plus répandus (McCall et al., 2010; MRNF, 2010). Il pourrait donc être intéressant, en plus de positionner des passages et aménagements aux zones clés, c'est-à-dire lorsqu'une route traverse un ravage, d'être plus proactif dans l'aménagement de passages de toutes sortes dès que l'opportunité se présente, et que l'endroit où sont réalisés les travaux semble être en milieu naturel (ce qui est le cas pour une grande partie du territoire). Il s'agit d'ailleurs d'une recommandation qui ressort fortement dans la littérature (Carsignol, 2012; Jaeger, 2012). À titre d'exemple, comme un ponceau peut facilement être optimisé pour la petite et moyenne faune en ajoutant une tablette sèche ou autre adaptation (Bédard, 2012; Bédard et al., 2012a), les travaux de ponceaux en milieu humide pourraient facilement être optimisés en aménageant plus systématiquement ces éléments, sans nécessairement tomber dans les études plus approfondies.

Voici donc un résumé des recommandations plus techniques qui gagneraient à être appliquées avec les cartes obtenues :

- Mise en place d'aménagements pour la grande faune dès que l'opportunité se présente dans un ravage de cerf de Virginie.
- Considérer la mise en place de passages même si l'ouvrage n'est pas situé à l'emplacement exact de forte densité de collisions compte tenu de la pertinence de jumeler passages et clôtures sur plusieurs kilomètres sur les routes à accès contrôlés (il n'est pas permis de disposer des clôtures sur d'autres types de routes pour ne pas limiter l'accès à des propriétaires privés) (DGCA, conversations, 2018).

- Mise en place d'une diversité d'aménagements plus systématiquement dans toutes les zones identifiées (en ayant effectué des études préalables pour préciser la nature des passages à préconiser).

7.3.2 Recommandations d'éléments à préciser

Comme exposé au chapitre 6, les résultats obtenus pour les milieux humides ainsi que le milieu forestier sont très généraux et permettent d'obtenir une vue d'ensemble des endroits où concentrer de futures études, plutôt que d'obtenir des zones où considérer l'aménagement de passages fauniques. Également, le chapitre 6 a permis d'exposer que la méthodologie comportait d'importantes limites, et particulièrement en milieu densément boisé. Des méthodes plus précises, comme l'IQH et l'identification de corridor par matrices de résistance devaient donc être préconisées si des résultats étaient souhaités pour des taxons autres que les grands mammifères.

C'est ainsi ce qui serait suggéré pour améliorer les résultats obtenus aux cartes 1 et 3, particulièrement pour le milieu forestier. En effet, comme la région de la Chaudière-Appalaches est très boisée, et qu'elle contient une grande variété d'espèces terrestres répandue sur le territoire, l'IQH pourrait potentiellement aider à mieux cibler certains massifs forestiers de qualité coupés par des routes, autres que ceux ciblés en raison de leur statut légal. Cela permettrait en effet de faire des choix entre les ouvrages soumis à des travaux en milieu boisé.

Il demeure que le contexte fait en sorte qu'il pourrait être de complexe de défrayer immédiatement des budgets aussi importants pour effectuer ce type d'étude à l'échelle de la région (on se rappelle que la mission première du MTQ n'est pas la conservation, et que les experts en environnement n'ont pas les moyens temporels ni même les connaissances pour réaliser ce type d'analyses). Les prochains éléments visent donc à mettre en lumière d'autres solutions qui peuvent être utilisées d'ici à ce que des études très détaillées de l'ensemble du territoire soient disponibles.

Ainsi, bien que, pour le milieu forestier, la solution idéale demeure des études plus précises de la région entière, il serait possible, à titre d'exemple, de faire des sélections basées sur la taille des massifs forestiers. Ainsi, tous les massifs de plus de certaines tailles (à sélectionner selon les objectifs de l'équipe) traversés par des routes pourraient faire l'objet d'aménagements systématiques, ou d'études de caractérisation de la faune à échelle locale.

Concernant les milieux humides, comme ils sont moins nombreux sur le territoire, des analyses précises comme l'IQH, bien que pertinentes, sont moins nécessaires. En effet, si, durant une année, quelques structures présentent en milieu humide devaient être soumises à des travaux, il serait plus facile d'investir directement sur des études plus spécifiques (une caractérisation des milieux humides de part et d'autre des

travaux visés), à l'échelle de tronçons routiers afin de comparer les quelques milieux humides touchés. Les couches obtenues à la carte 3, classant les milieux humides par taille, pourraient même être utilisées comme indice de priorisation, sans passer à des études de précision.

De façon générale, il pourrait également être pertinent de prioriser les sites en fonction des débits de circulation et des informations colligées au tableau 1.1, en accordant, par exemple, un niveau d'importance moins grand aux routes à très faible débit, qui causent peu de problèmes à la fois pour les collisions et pour l'évitement (Clevenger et Huijser, 2011).

7.4 Recommandations globales pour le MTQ

La plupart des recommandations émises dans les sections 7.2 et 7.3 découlent directement de l'étude de cas et concernent donc plus spécifiquement la Chaudière-Appalaches. Cette section vise donc à résumer les recommandations valables pour le MTQ en général, extraites à la fois des leçons tirées de l'étude de cas, mais également de toutes les lectures effectuées dans le cadre de l'essai :

- Récolter des données sur les collisions pour la petite et la moyenne faune. Ces données sont fortement indicatrices et la récolte de ces dernières est négligée pour certaines classes fauniques.
- Tenter d'aller au-delà des opportunités qui se présentent (traversées de cours d'eau) pour l'aménagement de passages. Les zones les plus appropriées ne se situent pas nécessairement vis-à-vis un cours d'eau (Clevenger, 2012).
- Faire de l'intégration systématique (comme en Europe) (Carsignol, 2012) en appliquant le principe de précaution (Jaeger, 2012) afin de veiller à ce que les passages soient les plus rapprochés possible (Clevenger et al., 2003).
- À fine échelle, viser les habitats d'espèces sensibles aux routes.
- Comme le MTQ gagne à assurer la pérennité de ses passages, considérer l'occupation du territoire, le cadre réglementaire et les différents acteurs du milieu lors de la mise en place des aménagements.
- Bien que plusieurs espèces comme les oiseaux ou les reptiles n'aient pas été directement inclus dans la méthodologie du présent essai, il est important de se rappeler que les aménagements ne consistent pas seulement en des passages ou des clôtures, mais peuvent également consister en des mesures d'atténuation pour le bruit, des panneaux de signalisation pour la sensibilisation des usagers de la route, etc. (voir chapitre 1).

Plusieurs des éléments cités ci-dessus représentent une lacune en raison de la vision du MTQ et du manque d'intégration des différents acteurs dans le processus d'aménagement ponctuel des différentes DGT. La prochaine section sera donc entièrement dédiée à présenter l'intérêt et la façon d'intégrer les différentes parties prenantes dans ce processus.

7.5 Implantation optimale d'aménagements fauniques : un élément à considérer pour le futur

Comme l'a montré le présent essai, les études portant sur les mesures de mitigation pour les routes sont nombreuses. Les études portant sur le positionnement optimal des passages fauniques également. Toutefois, le contexte québécois ne laisse pas encore pleinement la place aux solutions proposées par la communauté scientifique. Voici donc des pistes de solution qui pourraient potentiellement faciliter l'intégration de ces mesures.

7.5.1 Démarche spécifique à la DGCA dans le contexte présent

Bien que de nombreuses initiatives voient le jour depuis quelques années pour le rétablissement de la connectivité de différentes régions, ce n'est pas encore le cas en Chaudière-Appalaches (Gratton, 2014). Le cas particulier de la région fait en sorte qu'il y a des OBV, un CRE, mais pas d'organisme de conservation exclusivement actif en Chaudière-Appalaches, et dont la vision est globale (au même titre que Corridor appalachien pour l'Estrie, par exemple) (Gratton, 2014; MRNF, 2010). Ainsi, comme les plans de conservation ou études de connectivité prennent généralement naissance au sein de ce type d'organisme, il est plus facile de comprendre pourquoi la Chaudière-Appalaches n'a pas été soumise à ce genre d'étude. D'autre part, comme la grande partie du territoire se situe en terre privée, et que les actions de conservation en terres privées sont généralement menées par des organismes œuvrant en conservation, cet élément complexifie encore davantage la situation de la région. Ainsi, l'acquisition de terres privées dans l'optique d'assurer la protection des habitats adjacents aux passages fauniques demeure difficilement atteignable. Les partenaires clés en Chaudière-Appalaches demeurent donc les municipalités (par leur plan d'urbanisme), les MRC (par leurs schémas d'aménagement). (Gratton, 2014) Ainsi, une bonne solution serait de tenter de mettre en place de petits partenariats entre ces acteurs et le MTQ lors de la mise en place d'aménagements majeurs. En effet, comme l'a montré le cas de la rivière Aulneuse à Lévis (chapitre 1), les démarches de conservation prises par les municipalités ou les MRC peuvent mener à de beaux projets dont la pérennité est assurée. D'autres solutions, comme la consultation du CRECA ou des différentes associations forestières du territoire pourraient également mener à certains partenariats et faciliter la collaboration des propriétaires privés. Toutefois, le contexte de terres privées et la collaboration des propriétaires demeurent un défi, et comme les experts en environnement du MTQ ont très peu de temps à consacrer à ce genre de démarche, il va sans dire que ces solutions, pour l'instant, sont difficilement applicables.

Ainsi, bien que le maintien de la connectivité et de la biodiversité ne soit pas le rôle du MTQ, il demeure que ce ministère a une forte influence sur ces éléments, et que les experts en environnement du MTQ devraient avoir davantage de latitude pour travailler sur l'atténuation des impacts des routes.

7.5.2 Recommandations de changements majeurs

Dans une situation idéale, des études sur la connectivité pour chaque région administrative seraient réalisées afin de connaître les patrons de déplacement et d'éviter que les corridors d'importance ne soient coupés par des routes. On s'assurerait, lors de l'élargissement ou de la construction de nouveaux tronçons routiers, que les écosystèmes de part et d'autre de la route soient bien connus, et que les emplacements optimaux pour les aménagements fauniques aient été choisis par des modèles de déplacement ou des corridors de déplacements, et non pas simplement par opportunité. Dans une optique d'intégration idéale du réseau routier aux écosystèmes, les études à l'échelle d'un tronçon routier, comme celles présentées par Salvant (2017) ou Gratton (2014) pourraient même devenir pratique courante. Plus important encore, il serait possible de se questionner très sérieusement et de tenter d'assurer la pérennité de tous les aménagements mis en place. En résumé, il faudrait idéalement s'inspirer des plusieurs pays d'Europe (Bédard et al., 2012b).

Il a été constaté, au travers des lectures et des réflexions soulevées par le présent projet, qu'un élément, encore très peu intégré, pourrait potentiellement améliorer l'intégration des routes au paysage et ce, de façon pérenne. La collaboration entre les différents acteurs d'une région administrative pourrait faire une différence considérable pour le maintien de la connectivité et la diminution de la mortalité faunique sur les routes.

Il va sans dire, toutefois, que le contexte québécois n'offre pas encore l'opportunité d'intégrer parfaitement les routes aux écosystèmes adjacents. La consultation et la prise en compte des acteurs pouvant influencer de près ou de loin la mise en place d'aménagements fauniques sont difficiles à inclure systématiquement étant donné que les projets majeurs, au sein desquels les ressources temporelles et financières pourraient permettre ce genre de démarche, sont peu fréquents (Bédard, 2012; Lavoie et al., 2012). Également, avec la mise en place d'aménagements à la pièce, il est plus difficile, au quotidien, d'effectuer des consultations pour optimiser les démarches, d'autant plus que le rôle du MTQ ne réside pas directement dans le maintien de la connectivité à l'échelle du territoire.

Il demeure que cela serait une des principales recommandations et un des éléments dans lequel du temps et de l'argent devraient être investis. Assurer l'intégrité écologique dans le contexte routier nécessite l'implication de plusieurs acteurs comme les gouvernements, les universités, les organismes de conservation, les municipalités et les MRC (Gratton, 2014; Forman, 1998). Voici donc une série de recommandations qui définit les responsabilités que chacun des acteurs devrait avoir dans l'intégration des

routes aux écosystèmes, ainsi que les acteurs qui devraient être impliqués pour mettre en œuvre ces recommandations, et ce, en tenant compte, le plus possible, du contexte présent :

Le gouvernement du Québec devrait :

- Améliorer le financement du MFFP pour qu'il soit davantage en mesure de récolter des données fauniques pouvant faciliter directement la mise en place stratégique de passages fauniques.
- Favoriser le financement des organismes de conservation ou des ministères ayant un rôle en environnement, afin de s'assurer que des études sur la connectivité soient disponibles dans toutes les régions.
- Considérer mettre en place des lois portant sur le maintien de la connectivité à l'échelle de la province.

Le MTQ devrait :

- Parrainer les études universitaires portant sur les aménagements fauniques, afin qu'elles tiennent davantage compte du contexte de mise en place des aménagements au Ministère.
- Lors de la mise en place des passages, intégrer aux pratiques les suivis pour que les experts en environnement du MTQ aient les ressources temporelles pour le faire. Également, faire de même pour la mise en place de démarches de consultation des municipalités, des MRC, des organismes de conservation et des propriétaires privés, le cas échéant, afin d'assurer une pérennité des terres adjacentes aux passages.

Les MRC et municipalités devraient :

- Axer davantage sur la conservation dans leur schéma d'aménagement et plans d'urbanisme afin de favoriser la collaboration du MTQ dans leur démarche.

Les universités et organismes de conservation devraient :

- Lorsque des méthodologies ou des outils sont développés pour venir en aide aux experts responsables de la mise en place des passages fauniques au MTQ, s'assurer d'être en contact avec ces derniers afin de mieux évaluer le contexte dans lequel ils évoluent. De nombreux modèles, outils ou méthodologies sont disponibles, mais peu adaptés ou accessibles dans un contexte d'application au MTQ.

CONCLUSION

C'est sans aucun doute qu'il est possible d'avancer, après une revue de la littérature portant sur le sujet, que les impacts des routes sur la biodiversité sont importants, et sont encore loin d'être réglés. Bien que des mesures de mitigation soient prises dans de nombreuses régions du monde pour réduire les effets du réseau routier sur la faune, la prise en compte de la biodiversité dans les processus de développement des routes n'est pas encore intégrée dans les mœurs. Ainsi, bien que la littérature soit remplie de solutions à mettre en œuvre, le lien entre ces connaissances et le milieu d'application semble encore être difficile à faire.

Le Québec illustre d'ailleurs bien la situation où de nombreux défis peuvent ralentir la mise en place de mesures de mitigation comme les passages fauniques, malgré un intérêt grandissant de prendre action. En effet, les professionnels et techniciens du MTQ, tentent de plus en plus d'intégrer des aménagements fauniques aux structures du réseau routier autres que celles faisant partie de projets majeurs. Toutefois, comme ce mouvement est relativement récent et qu'on se trouve dans un contexte politique n'encourageant pas spécialement ce type de mesures (l'instance responsable n'a pas pour mission première d'assurer la conservation de la biodiversité), il est encore difficile pour les experts en environnement de justifier l'aménagement de passages de façon ponctuelle. On se trouve en fait dans un contexte où ces experts n'ont pas la possibilité de choisir les emplacements les plus stratégiques à l'échelle du territoire, mais doivent plutôt évaluer s'il est pertinent d'aménager des passages fauniques à l'endroit où sont prévus des travaux chaque année.

L'objectif général du présent essai est né lors du constat de cette problématique. L'idée était en fait d'arriver à un outil cartographique qui permettrait, en une analyse visuelle rapide, d'évaluer si les différents travaux planifiés se trouvaient dans des zones d'intérêts ou non, afin de faire des choix stratégiques. Pour se faire, une revue de littérature a été réalisée afin d'exposer l'ensemble des possibilités disponibles pour l'analyse de données d'information géomatique. En se basant sur cette revue, une présélection a pu être faite en considérant les limites du MTQ soulevées dans la mise en contexte, puis une méthodologie complète permettant d'obtenir un outil cartographique adapté à chaque DGT a été proposée. En appliquant cette méthodologie à l'étude de cas, soit la Chaudière-Appalaches, elle a pu être ajustée afin d'obtenir une suite d'actions optimales et un outil cartographique a été obtenu pour cette région. L'ensemble de l'essai a ensuite pu être utilisé pour émettre une série de recommandations s'adressant autant aux experts en environnement du MTQ, aux hautes instances du MTQ qu'aux autres parties prenantes impliquées.

Plus spécifiquement, le chapitre 3 a permis de mettre en évidence les différentes méthodes d'analyse ayant été utilisées à la fois pour cibler des zones propices à l'aménagement de passages fauniques à échelle locale ainsi qu'à échelle régionale. Certaines méthodes étaient très complexes et permettaient d'obtenir des

résultats très précis alors que d'autres étaient plus simples et plus générales. Ce chapitre a d'ailleurs permis de constater que plusieurs moyens existaient pour arriver à un même objectif.

Afin de faire un tri parmi toutes les techniques d'analyse présentées au chapitre 3, les méthodes d'analyse ont été classées selon les résultats qu'elles permettaient d'obtenir. Comme la méthodologie se voulait accessible et réalisable en une courte période de temps par des experts du MTQ, une présélection basée sur les principales limites a permis de faire ressortir quelques méthodes d'analyses, soit les sélections d'habitats et de corridors par analyse visuelle et l'analyse de densité de collisions. La technique d'analyse du filtre fin et du filtre grossier avait été également retenue puisque certains principes la caractérisant pouvaient être utiles pour la suite des choses. Une méthodologie générale a ensuite été présentée. Cette démarche permettait de préciser les choix d'analyse en tenant compte des enjeux spécifiques à chaque territoire et en faisant un inventaire des données disponibles.

L'application de la méthodologie a été réalisée au chapitre 5. Les enjeux propres au territoire de la Chaudière-Appalaches ont été relevés par une revue de littérature et les enjeux spécifiques à la DGCA ont également été relevés en se basant sur les informations du chapitre 1 ainsi que sur des discussions ayant eu lieu avec les experts de la DGCA. Le regroupement de l'ensemble de ces enjeux a permis de cibler les objectifs spécifiques de cette DGT, c'est-à-dire les résultats exacts qu'ils souhaitaient obtenir une fois l'outil réalisé.

À partir de ces objectifs, des données disponibles et des techniques d'analyse présélectionnées, le choix a été finalisé et un plan d'analyse a pu être rédigé au chapitre 5. L'application de ce plan d'analyse a permis d'obtenir un outil cartographique. Afin de bien respecter les objectifs qui avaient été ciblés pour la DGCA, l'outil se déclinait en quatre cartes, dont une montrant une vue globale du territoire, une montrant des zones avec différentes densités d'accident avec la grande faune, une autre montrant les milieux humides de différentes tailles compris dans une zone tampon autour du réseau routier et une montrant toutes les zones d'importance ciblées. L'application de la méthodologie a permis de constater qu'elle était logique et facile à suivre, mais que le choix d'analyse des données était optimal principalement avec des données concrètes d'occurrence. Les résultats obtenus grâce à l'outil cartographique ont d'ailleurs permis de cibler des zones d'importance pour la grande faune, et de mettre en relief quelques éléments du paysage de la Chaudière-Appalaches.

Avec les constats faits aux chapitres précédents, plusieurs recommandations ont pu être émises au chapitre 7. D'une part, certaines décisions, comme le choix de la méthode d'analyse visuelle, ont pu être remises en question, alors que d'autres, comme celles d'utiliser les données de collisions, ont été considérées comme concluantes. D'autre part, des suggestions quant à l'utilisation des zones étant ressorties de l'outil cartographique ont été émises pour la DGCA. Finalement des recommandations quant aux éléments à

considérer pour tout le MTQ ont été mises de l'avant, et concernaient principalement la récolte de données de carcasses et l'intégration plus systématique d'aménagements fauniques au réseau routier.

De façon générale, le présent essai permet de constater qu'avec les moyens limités du MTQ, tant en ce qui concerne le temps pouvant être alloué aux analyses, les connaissances en géomatique que les ressources technologiques disponibles, il peut être très complexe de faire ressortir des résultats concluants en l'absence de données fauniques concrètes montrant une preuve de présence (occurrence, collisions, etc.). Il a été constaté qu'il était d'autant plus difficile d'effectuer une analyse régionale dans un contexte comme la Chaudière-Appalaches, où le paysage sillonné par de nombreuses routes, mais peu densément peuplé laisse un territoire très boisé.

De tels résultats sont d'ailleurs la preuve que les partenariats entre les différentes parties prenantes pouvant jouer un rôle pour l'aménagement de passages fauniques sont la clé, comme exposé au chapitre 7. En effet, de nombreux organismes travaillent forts pour développer des outils, mais le manque de communication et de concertation entre le milieu scientifique et les instances responsables de la mise en place font en sorte qu'elles sont difficilement applicables. Si tous les acteurs spécialisés en conservation ou en écologie routière comme les organismes de conservation et les universités étaient davantage impliqués et pouvaient contribuer plus directement ou plus facilement à l'intégration de passages fauniques au réseau routier québécois, le processus global en serait grandement amélioré.

RÉFÉRENCES

- Association des parcs régionaux. (2017). PARC : parcs régionaux du Québec. Repéré à <https://www.parq.ca>
- Association forestière des deux rives. (2005). Une forêt régionale tournée vers l'avenir. Repéré à <http://www.af2r.org/portail/heritage.html>
- Baker, P. J., Dowding, C. V., Molony, S. E. P., White, C. L. et Harris, S. (2007). Activity patterns of urban red fox (*Vulpes vulpes*) reduce the risk of traffic-related mortality. *Behavioral Ecology*, 18, 716-724.
- Bédard, Y. (2012). La réfection de l'axe routier 73/175 : son histoire, son déroulement et ses enjeux sociaux et écologiques. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 3-7.
- Bédard, Y., Alain, É., Leblanc, Y., Poulin, M.-A. et Morin, M. (2012a). Conception et suivi des passages à petite faune sous la route 175 dans la réserve faunique des Laurentides. *Le naturaliste canadien*, 136 (2), 66-71.
- Bédard, Y., Dussault, C., Jaeger, J. A. G., Leblond, M., Ouellet, J.-P., Peltier, J. et St-Laurent, M.-H. (2012b). Message du comité organisateur. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 2.
- Bédard, Y., Dussault, C., Jaeger, J. A. G., Leblond, M., Ouellet, J.-P., Peltier, J. et St-Laurent, M.-H. (2012c). Synthèse des discussions et des échanges tenus lors de la table ronde. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 107-108.
- Beaulieu, F. (2018). *Passages fauniques au Québec : enjeux et facteurs de réussite* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada). Repéré à https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/14174/Beaulieu_Frederique_A_MEnv_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bergeron, D. (2012). Les enfants à la rescousse des grenouilles tuées sur les routes. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 72-81.
- Blais, A. (2018). *Principe d'élaboration de réseaux écologiques*. Repéré à http://www.crecq.qc.ca/upload/tmp/rendez-vous_atlas/forum/document_connectivite.pdf
- Bouchard, J.-F. (2016). Pour une meilleure cohabitation entre la faune et les réseaux routiers. Repéré à <https://www.uqar.ca/nouvelles/uqar-info/1306-pour-une-meilleure-cohabitation-entre-la-faune-et-les-reseaux-routiers>
- Bouffard, M., Leblanc, Y., Bédard, Y. et Martel, D. (2012). Impacts de clôtures métalliques et de passages fauniques sur la sécurité routière et le déplacement des orignaux le long de la route 175. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 8-15.
- Canards Illimités Canada. (2018). Milieux humides : cartographie détaillée. Manitoba.
- Canards Illimités Canada. (2019). Plans régionaux de conservation des milieux humides. Repéré à <http://www.canards.ca/resources/proprietaires-fonciers/plans-regionaux-de-conservation-des-milieux-humides/>
- Carsignol, J. (2012). Des passages à gibier à la Trame Verte et Bleue : 50 ans d'évolution pour atténuer la fragmentation des milieux naturels en France. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 76-82.
- Cheveau, M. et Dussault, C. (2013). *Guide d'utilisation des modèles de qualité de l'habitat*. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/faune/habitats-fauniques/pdf/Guide-utilisation-MQH.pdf>

- CIMA+. (2018). *Analyse de la connectivité sur le territoire de la CMQ et de la TCRQ* (Rapport final). Repéré à https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/12/Rapport-final_Connectivite-ecologique-CMQ-TCRQ_Aout-2018.pdf
- Clevenger, A. P. (2012). Leçons tirées de l'étude des passages fauniques enjambant une autoroute dans le parc national de Banff. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 35-41.
- Clevenger, A. P., Apps, C., Lee, T., Quinn, M., Platon, D., Poulton, D. and Ament, R. (2010) *Highway 3: Transportation mitigation for wildlife and connectivity in the crown of the continent ecosystem* (Rapport final). Repéré à https://www.rockies.ca/files/reports/H3%20Final%20Report%200607_June8.pdf
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B. et Gunson, K. E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109, 15-26.
- Clevenger, A.P. et Hardy, A. (2006). *Analyses of wildlife-vehicle collision data: applications for guiding decision-making for wildlife crossing mitigation and motorist safety* (Rapport technique). Repéré à https://www.researchgate.net/publication/242116385_Analyses_of_wildlife-vehicle_collision_data_applications_for_guiding_decision-making_for_wildlife_crossing_mitigation_and_motorist_safety_II_Methods_and_applications_-_Hotspot_identification_of_wildli/download
- Clevenger, A. P. et Huijser, M. P. (2011). *Wildlife crossing structure handbook : Design and evaluation in North America*. Repéré à https://roadeology.ucdavis.edu/files/content/projects/DOT-FHWA_Wildlife_Crossing_Structures_Handbook.pdf
- Clevenger, A. P. et Wierzchowski, J. (2006). Maintaining and restoring connectivity in landscapes fragmented by roads. *Connectivity Conservation*, 502-535.
- Clevenger, A. P., Wierzchowski, J., Chruszcz, P. et Gunson, K. (2002) GIS-Generated, Expert-Based Models for Identifying Wildlife Habitat Linkages and Planning Mitigation Passages. *Conservation Biology*, 16(2), 503-514.
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15, 396–406.
- Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques. (2017). Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques : de la recherche aux actions concrètes. Repéré à <http://www.roadeologyconference.org/index.php/fr/>
- Conférence régionale des élus. (2006). *Commission régionale sur les ressources naturelles et le territoire et plan régional de développement intégré pour la région de la Chaudière-Appalaches*. Repéré à https://mern.gouv.qc.ca/publications/commissions-regionales/cr_chaudiereappalaches_12.pdf
- Conseil régional de l'environnement de la Chaudière-Appalaches (CRECA). (2018). Repéré à <http://www.creca.qc.ca/>
- Cormier, C., Côté, S., Mercure, M., Cerruti, A. et Minelli, F. (2012). Cadre méthodologique pour restaurer la connectivité écologique, de la planification à la conservation : étude de cas de la Montérégie. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 95-100.
- Coulombe, D. et Nadeau, S. (2013). *Identification des milieux naturels d'intérêt pour la biodiversité : territoire privé du Bas-Saint-Laurent. Agence régionale de mise en valeur des forêts privées du Bas-Saint-Laurent*. Repéré à http://www.agence-bsl.qc.ca/Services_multiresources/Publications/IMNI_rapport_final_Mai_2013.pdf

- Doyon, B. et Fortier-Guay, K.-A. (2017). *Portrait forestier et faunique des ravages de cerfs de Virginie du sud de la Beauce* (Rapport technique numéro 57). Thetford Mines, Québec, Canada : Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière.
- Dussault, C., Laurien, C. et Ouellet, J.-P. (2012). Réactions comportementales de l'orignal à la présence d'un réseau routier dans un milieu forestier. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 48-53.
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2018). *Cartographie de l'occupation du sol des Basses-terres du Saint-Laurent*. Repéré à http://data.ec.gc.ca/data/sites/systems/land-cover-mapping-of-the-st.-lawrence-lowlands/PASL_Occupation_sol_Rapport_methodologique.pdf
- ESRI. (s. d.). Repéré à <https://www.arcgis.com/index.html>
- ESRI. (2016). Densité de points. Repéré à <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-point-density-works.htm>
- ESRI. (2018). Création d'un raster de surface de coût. Repéré à <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/creating-a-cost-surface-raster.htm>
- Explorable. (2018). La recherche empirique. Repéré à <https://explorable.com/fr/la-recherche-empirique>
- Fahrig, L., Pedla, J. H., Pope, S. E., Taylor, P. D. et Wegner, J. F. (1995). Effect of traffic on amphibian density. *Biological Conservation*, 73(3), 177-182.
- Ford, A. T., Clevenger, A. P., Huijser, M. P. et Dibb, A. (2011). Planning and prioritization strategies for phased highway mitigation. *Wildlife Biology*, 17 (3), 253-265.
- Forman, R. T. T. (1998). Road ecology : A solution for the giant embracing us. *Landscape Ecology*, 13, 3-5.
- Forman, R. T. T. et Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, 29, 207-231.
- Gérardin, V. et D. McKenney, 2001. *Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec*. Québec, Québec, Canada : Direction du patrimoine écologique et du développement durable.
- Girardet, X., Foltête, J.-C., Clauzel, C. et Vuidel, G. (2016). Restauration de la connectivité écologique : proposition méthodologique pour une localisation optimisée des passages à faune. *Vertigo*, 24. Repéré à <https://journals.openedition.org/vertigo/17337>
- Gratton, L. (2010). *Plan de conservation de la vallée du Saint-Laurent et du lac Champlain, région du Québec*. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/925/1/Gratton_2010_Plan%20conservation_St-Laurent_A.pdf
- Gratton, L. (2014). *Protocole d'identification des corridors et passages fauniques*. Repéré à https://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/protocole_corridors_fauniques_aut10.pdf
- Groves, C. R., Beck M. W., Higgins, J. V. et Saxxon, E. C. (2003). *Drafting a Conservation Blueprint. A practitioner's Guide to Planning for Biodiversity*. Canada : Island Press.
- Hébert, F., Hénault, M., Lamoureux, J., Bélanger, M., Vachon, M. et Dumont, A. (2013). *Guide d'aménagement des ravages de cerfs de Virginie*. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/Guide-amenagement-ravages-cerfs-Virginie.pdf>

- Jaeger, J. A. G. (2012). L'impact des constructions routières sur la fragmentation du territoire en Suisse (1885-2002) : quelles leçons retenir ? *Le naturaliste canadien*, 136 (2), 83-88.
- Jaeger, J. A. G., Bélanger-Smith, K., Gaitan, J., Plante, J., Bowman, J. et Clevenger, A. P. (2017). *Suivi de l'utilisation et de l'efficacité des passages à faune le long de la route 175 pour les petits et moyens mammifères*. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1202547.pdf>
- Jaeger, J. A. G. et Fahrig, L. (2004). Effects of road fencing on population persistence. *Conservation Biology*, 18(6), 1651-1657.
- Lavoie, M., Desjardins, S., Langevin, B., Couturier, S., Bélanger, J., Hudon, F., Daigle, C., St-Onge, S. et Fortin, J. (2012). Réponses comportementales de cerfs de Virginie à la suite de la construction d'une autoroute traversant leur aire d'hivernage au Québec. *Le naturaliste canadien*, 136 (2), 54-60.
- Leclair D. et Blais, A. 2015. *Guide de vulgarisation pour l'identification des corridors naturels en milieu agricole*. Repéré à http://www.crecq.qc.ca/upload/contenu-fichiers/Biodiversite/corridor/Rapport_synthese.pdf
- Lesmerises, F., Dussault, C. et St-Laurent, M.-H. (2012). Réponses du loup gris au réseau routier et à la présence d'un important chantier de construction. *Le naturaliste canadien*, 136 (2), 29-34.
- Massif du sud. (s. d.). Nous joindre. Repéré à <http://massifdusud.com/nous-joindre/>
- McCall, S. C., McCarthy, M. A., van der Ree, R., Harper, M. J., Cesarini, S. et Soanes, K. (2010). Evidence that highway reduces apparent survival rates of squirrel gliders. *Ecology and Society*, 15(3), 27.
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT). (s. d.). Dissolution des conférences régionales des élus. Repéré à <https://www.mamh.gouv.qc.ca/developpement-territorial/gouvernance-municipale-en-developpement-local-et-regional/pour-plus-de-precisions/foire-aux-questions-dissolution-des-conferences-regionales-des-elus-cre/>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT). (2017). Région administrative 12 : *Chaudière-Appalaches*. Repéré à https://www.mamot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/organisation_municipale/cartotheque/Region_12.pdf
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). (2017). Profil de la région. Repéré à <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Regions/chaudiereappalaches/Vraiprofil/Pages/profil.aspx>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2018a). Aires protégées au Québec : Les provinces naturelles. Repéré à http://www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/provinces/index.htm
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2018b). Étude de la qualité de l'eau potable dans sept bassins versants en surplus de fumier et impacts potentiels sur la santé. Repéré à <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/sept-bassins/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2017). Milieux humides potentiels. Direction de l'expertise en biodiversité, Québec.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2018a). Base de données des lacs et cours d'eau. Québec.

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2018b). Les aires protégées au Québec. Repéré à http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/aires_quebec.htm
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2018c). La définition de corridor écologique. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/jeunesse/chronique/2008/0803-corridors-definition.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2018d). Registre des aires protégées au Québec. Version septembre 2018, Québec.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). (s. d.). *Projet pilote de mise en valeur du cerf de Virginie*. Repéré à https://mern.gouv.qc.ca/publications/Chaudiere-Appalaches/projet_pilote_cerf.pdf
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). (2015). Habitats fauniques du Québec. 1 : 20 000, Base de données topographiques du Québec, Québec.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). (2017). Base de données géographiques et administratives. 1 : 1 000 000, Québec.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (2017). Résultats d'inventaire et carte écoforestière. Versions ArcGIS 9.3 et 10, 1 : 250 000, Québec.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (2018a). Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (2018b). Écosystème forestier exceptionnel. Québec.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). (2010). *Portrait territorial : Chaudière-Appalaches*. Repéré à <https://mern.gouv.qc.ca/publications/territoire/planification/portrait-chaudiere-appalaches.pdf>
- Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'électrification des transports (MTMDET). (2016). *Guide sur les mesures d'atténuation pour les conflits route et faune*. Québec, Québec, Canada : auteur.
- Ministère des Transports (MTQ). (2015). *Rapport annuel de gestion 2014-2015* (rapport de gestion). Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/organisation/rapport-annuel/Documents/rag-2014-2015.pdf>
- Ministère des Transports (MTQ). (2018a). Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/Pages/default.aspx>
- Ministère des Transports (MTQ). (2018b). *Rapport annuel de gestion 2017-2018* (rapport de gestion). Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/organisation/rapport-annuel/Documents/rag-2017-2018.pdf>
- Parc régional des Appalaches. (s. d.). Nous contacter. Repéré à <https://www.parcappalaches.com/fr/nous-contacter/>
- Pêches et Océans Canada (MPO). (2016). *Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec*. Repéré à http://www.foretprivee.ca/wp-content/uploads/2016/05/Lignes_dir_traversees_QC_2016-MPO.pdf
- Peltier, J. (2012). Incidence et prévention des accidents routiers impliquant la grande faune sur le réseau du ministère des Transports du Québec. *Le naturaliste canadien*, 136 (2), 89-94.
- Pitney Bowes. (s. d.). Repéré à <https://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html>

- Primack, R. B. (2014). *Essentials of conservation biology* (7^e éd.). Sunderland, Massachusetts, États-Unis : Sinauer Associates, Inc., Publishers.
- Robert, G. (2014). *Conservation des réseaux écologiques et aménagement durable du territoire : cas de la Ville de Granby* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada). Repéré à https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Robert_G_2014-01-24__01.pdf
- Salvant, F. (2017). *Identification des zones d'intervention prioritaires pour les mouvements fauniques sur une portion de l'autoroute 10* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada). Repéré à <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/11506>
- Secrétariat des conférences intergouvernementales canadiennes. (2016). Résolution 40-3 : Résolution concernant la connectivité écologique, l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité. Repéré à <http://www.scics.ca/fr/product-produit/resolution-40-3-resolution-concernant-la-connectivite-ecologique-l-adaptation-aux-changements-climatiques-et-la-conservation-de-la-biodiversite/>
- Société d'histoire de la vallée du Saint-Laurent (SHVSL). (2015). *Guide de conservation des amphibiens, des reptiles et de leurs habitats en milieu agricole*. Repéré à https://oaq.qc.ca/wp-content/uploads/2016/05/SHNVSL_Guide-amphibiens-reptiles-milieu-agricole_lowres_v2.pdf
- St-Laurent, M.-H., Renaud, L.-A., Leblond, M. et Beauchesne, D. (2012). Synthèse des connaissances relatives aux impacts des routes sur l'écologie du caribou. *Le naturaliste canadien*, 136 (2), 42-47.
- Trombulak, S. C. et Frissell C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation biology*, 14 (1), 18-30.
- Vallée, P.-M., Bélanger, J. et Fortin, J. (2019). Conception et construction des aménagements relatifs aux cerfs de Virginie le long de l'autoroute Robert-Cliche (A-73) au Québec. *Le naturaliste canadien*, 143(1), 55-61.
- van der Ree, R., Jaeger, J. A. G., van der Grift, E. A. et Clevenger, A. P. (2011). Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving towards larger scales. *Ecology and Society*, 16(1), 48.
- Villard, M.-A., Mazerolle, M. J. et Haché, S. (2012). L'impact des routes, au-delà des collisions : le cas des oiseaux forestiers et des amphibiens. *Le naturaliste canadien*, 136 (2), 61-65.

BIBLIOGRAPHIE

- Boucher, M. (2010). *Fréquentation des passages fauniques par la petite faune* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada). Repéré à https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2010/Boucher_M__12-05-2010_.pdf
- Bouffard, M. (2008). *Les corridors biologiques et leur prise en compte dans les projets routiers* (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada). Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0969352.pdf>