

FRÉQUENTATION DES PASSAGES FAUNIQUES PAR LA PETITE FAUNE

Par

Maryse Boucher

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, Avril 2010

IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE

FRÉQUENTATION DES PASSAGES FAUNIQUES PAR LA PETITE FAUNE

Maryse Boucher

Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Sous la direction de monsieur Yves Leblanc

Université de Sherbrooke

Avril 2010

Mots clés : passage faunique, petite faune, mammifères, impacts des routes, route 175, fragmentation, filtre aux déplacements, collisions

La présence des réseaux routiers peut entraîner plusieurs conséquences sur les mammifères terrestres. En effet, la circulation routière est responsable de la mortalité d'individus suite à des collisions avec les véhicules. Les réseaux routiers agissent comme un filtre aux déplacements, ils induisent une diminution de la qualité et de la quantité d'habitats disponibles et ils contribuent au phénomène de fragmentation du paysage. Pour réduire les impacts des routes sur la faune et assurer la perméabilité entre les habitats, l'utilisation de passages fauniques s'est développée au cours des dernières années. Plusieurs facteurs sont responsables de la fréquentation de ces passages par les espèces. Certains d'entre eux sont liés aux caractéristiques des structures (couvert, longueur, largeur, aménagement, etc.) alors que d'autres dépendent de l'écologie des espèces présentes. Dès l'été 2009, une analyse de la fréquentation des passages fauniques par les mammifères de petite et moyenne taille fut amorcée le long de la route 175. Au Québec, la considération des problématiques engendrées par les routes sur la faune terrestre n'en est encore qu'à ses débuts et ces aménagements représentent une progression pour leur prise en compte future.

SOMMAIRE

La création des réseaux routiers a permis à l'homme d'étendre ses activités sur des territoires de plus en plus éloignés et d'établir un lien entre villages, régions, provinces ou pays. Cependant, peu d'importance fut accordée aux conséquences engendrées par les routes et autoroutes sur les écosystèmes. Dans les années 1960, un intérêt est né pour ces problématiques, ce qui a généré plusieurs études sur le sujet.

Depuis, les études ont démontré que la présence des routes a donné lieu à plusieurs impacts sur la faune et ses habitats dont les plus importants sont la perte d'habitat, la mortalité due aux collisions avec les véhicules, l'inaccessibilité aux ressources (abri, nourriture, partenaire sexuel, etc.) et la subdivision des populations. Afin de contrer ces différentes problématiques, l'emploi de passages fauniques a été mis de l'avant par plusieurs pays. Le rôle de ces passages est de rétablir la perméabilité entre les habitats situés de part et d'autre de la route et d'assurer les déplacements sécuritaires de la faune entre ces derniers. La fréquentation de ces passages par la faune dépend de plusieurs facteurs qu'il est important de prendre en considération lors de l'implantation de ces structures.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le sujet de cet essai dont l'objectif principal est d'examiner les informations disponibles et pertinentes sur la fréquentation des passages fauniques par la petite faune terrestre afin de faire des recommandations sur leur mise en place, leur construction et leur aménagement lors de leurs implantations sur le réseau routier québécois.

La revue de littérature ainsi que l'analyse de données, récoltées à l'été et l'automne 2009 sur la route 175 au Québec, ont permis d'identifier certains facteurs à analyser lors de la création de passages fauniques dont les principaux sont la présence de couvert, l'emplacement de la structure et la biologie des espèces présentes dans le secteur. Ces observations se sont ensuite traduites en recommandations concernant différents éléments à examiner lors de la création de ces structures. Ainsi, l'acquisition de connaissances sur la

biologie des espèces présentes est un facteur important pour la construction de passages fauniques adaptés aux besoins de ces dernières. En outre, afin de favoriser la fréquentation des passages par la faune, il est important de déterminer avec soin leur emplacement. Idéalement, ils devraient donc être situés dans des corridors de déplacements naturellement utilisés par la faune. De plus, la présence de couvert est primordiale afin de connecter les passages au milieu naturel augmentant ainsi la probabilité de fréquentation. En outre, une supervision de ces passages doit être mise en place afin d'en évaluer leur efficacité et par la suite, apporter des correctifs s'il y a lieu. Finalement, une chaire de recherche sur l'écologie des routes devrait être créée afin de regrouper toutes les expertises et de faciliter l'acquisition de connaissances. Ce centre de recherche permettra de mieux englober les différents projets de recherche afin d'assurer une continuité dans le développement des compétences.

REMERCIEMENTS

Je remercie mon directeur d'essai monsieur Yves Leblanc pour avoir accepté de m'aider dans la réalisation de cet essai et ensuite, pour avoir partagé avec moi son expérience, son savoir et ses idées. Ses commentaires, en plus de contribuer à l'amélioration de mon essai, m'ont permis de progresser en tant que biologiste et gestionnaire en environnement. Je remercie également monsieur Yves Bédard et madame Ghislaine Boucher pour la lecture et les commentaires apportés pour le perfectionnement de mon essai.

Cet essai est basé sur des données récoltées lors de mon stage au ministère des Transports du Québec alors j'aimerais remercier ceux sans qui mon stage n'aurait pas été ce qu'il fut. Merci à monsieur Martin Lafrance pour avoir su me guider efficacement dans le développement de mes compétences en tant que gestionnaire en environnement. Finalement, un merci spécial à monsieur Éric Alain pour le partage de ses connaissances et de ses idées sur une multitude de sujets. Merci d'avoir répondu à mes nombreuses (et le mot est faible!) questions, commençant toutes inlassablement par « pourquoi », avec patience et enthousiasme. Merci beaucoup.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. IMPACTS DU RÉSEAU ROUTIER SUR LA PETITE FAUNE TERRESTRE	3
1.1. Impacts sur les populations de petite faune	3
1.2. Impacts sur les habitats	9
2. LES PASSAGES FAUNIQUES	15
2.1. Types de passages fauniques	16
2.1.1. Tuyaux secs	16
2.1.2. Ponceaux de drainage.....	17
2.1.3. Tablettes en porte-à-faux.....	19
2.1.4. Ponceaux à deux ou plusieurs niveaux.....	20
2.1.5. Lits mineurs (ou pied sec).....	21
2.1.6. Lits majeurs	22
2.1.7. Tunnels mixtes	23
2.1.8. Écopont.....	24
2.2. Fréquentation des passages fauniques par la petite faune.....	25

3. FRÉQUENTATION DES PASSAGES FAUNIQUES PAR LA PETITE FAUNE SUR LA ROUTE 175, AU QUÉBEC.....	29
3.1. Mise en contexte	29
3.2. La zone d'étude.....	31
3.3. Matériels et méthodes utilisés pour récolter et analyser les données.....	32
3.3.1. Récolte des données	32
3.3.2. Analyse des données	37
3.4. Présentation des résultats	39
3.5. Analyse et interprétation des résultats	45
3.6. Faits saillants du suivi.....	56
4. RECOMMANDATIONS	59
CONCLUSION.....	63
RÉFÉRENCES	66
ANNEXE 1 FRÉQUENTATION DE CHACUN DES PASSAGES PAR LES ESPÈCES SELON LES DIFFÉRENTES PÉRIODES DU SUIVI.....	75

LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1. Facteurs qui influencent les collisions avec la faune.	5
Figure 1.2. Effets des routes sur les individus et les populations.....	9
Figure 1.3. Représentation de l'importance de l'effet de bordure.....	11
Figure 1.4. Perte de superficie de la forêt intérieure... ..	12
Figure 1.5. Présentation des effets majeurs des routes sur la faune et les conséquences écologiques et génétiques possibles qu'ils engendrent.....	14
Figure 2.1. Tuyau en béton armé de 600 mm de diamètre (TBA 600) à proximité du ponceau du ruisseau des Brûlés sous la route 175.....	17
Figure 2.2. Ponceau de drainage situé sous la rue Principale à Saint-Gilbert au Québec .	18
Figure 2.3. Schéma d'une tablette aménagée à l'intérieur d'un ponceau.	19
Figure 2.4. Tablette en bois en porte-à-faux installée à l'intérieur du ponceau d'un ruisseau sans nom sous la route 175	20
Figure 2.5. Ponceau à deux niveaux situé sous le boulevard Robert-Bourassa à Québec.	21
Figure 2.6. Lit mineur construit à la décharge du lac Horatio-Walker sous la route 175, au Québec	22
Figure 2.7. Lit majeur situé sous la route 175 à la décharge du lac à Noël	23
Figure 2.8. Tunnel mixte aménagé sous le boulevard Robert-Bourassa à Québec.	24
Figure 2.9. Écopont au dessus de l'autoroute transcanadienne dans le parc national de Banff en Alberta.....	25

Figure 2.10. Déplacements relatifs de la faune par rapport aux routes et aux passages fauniques.....	26
Figure 3.1. Localisation de la route 175	30
Figure 3.2. Exemple d'un système de tampon-encreur	34
Figure 3.3. Exemple de la position des caméras dans un lit majeur.....	35
Figure 3.4. Exemple de résultat, au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Nord, où les empreintes sont trop nombreuses et rapprochées pour déterminer le nombre de fréquentations	38
Figure 3.5. Fréquentation des trois types de passage par les différentes espèces.....	40
Figure 3.6. Nombre de fréquentations des neuf passages par les différentes espèces tout au long du suivi.	42
Figure 3.7. Nombre de fréquentations des passages pour chacune des espèces selon les différentes périodes du suivi.....	43
Figure 3.8. Type de déplacements effectués (traversée, aller-retour ou indéterminé) dans les passages par les espèces.....	44
Figure 3.9. Exemple d'un raton laveur consommant les appâts directement dans le passage du lit mineur de la décharge du lac Horatio-Walker.....	46
Figure 3.10. Nombre important de traces de mouffettes rayées au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Sud.....	47
Figure 3.11. Deux ratons laveurs juvéniles fréquentant le lit majeur de la rivière Jacques-Cartier le 21 octobre 2009 lors de leurs déplacements.....	50
Figure 3.12. Fréquentation du lit majeur de la décharge du lac à Noël par un renard roux	51

Figure 3.13. Dégradation des informations présentes sur les feuilles des tampons-encreurs	54
Figure 3.14. Exemple d'un individu qui est passé trop vite au lit mineur de la décharge du lac Horatio-Walker pour que la caméra puisse le photographier en entier.....	55
Tableau 1.1. Influence de la densité du trafic sur la perméabilité	7
Tableau 3.1. Localisation et caractéristiques des passages fauniques achevés de la route 175.	36
Tableau 3.2. Dates correspondant aux périodes du suivi.	37
Tableau 3.3. Espèces recensées lors du suivi de l'été 2009.	40
Tableau 3.4. Nombre de fréquentation des passages selon les espèces.....	41
Tableau 3.5. Résumé des avantages et inconvénients des systèmes utilisant les empreintes et des caméras numériques.....	55

LISTES DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ICOET	International Conference on Ecology and Transportation (Conférence internationale sur l'écologie et le transport)
MTQ	Ministère des Transports du Québec
TBA 600	Tuyau en béton armé de 600 mm de diamètre

INTRODUCTION

L'intérêt suscité par les différents effets des réseaux routiers sur l'environnement n'a cessé de croître durant les dernières décennies. En effet, bien que dans certains pays le réseau routier n'occupe qu'un faible pourcentage de la superficie du territoire, les impacts engendrés par ce dernier sont beaucoup plus étendus (Forman and Alexander, 1998; Trombulak and Rissell, 2000). Aux États-Unis, le réseau routier représente moins de 1 % de la superficie du territoire alors que la superficie affectée par ce dernier est estimée à environ 20 % (Forman, 2000).

Les réseaux routiers sont à l'origine de différents impacts sur la faune terrestre dont : la mortalité due aux collisions, une perte ou une diminution de la qualité ou de la quantité d'habitats, un effet de barrière qui nuit aux processus d'émigration, d'immigration, de reproduction et de recherche alimentaire et une isolation des populations (Ascensao and Mira, 2007; Litvaitis and Tash, 2008; Mata et al., 2008; Rico et al., 2007).

L'une des solutions retenues pour diminuer les différents impacts des routes sur la faune terrestre est la mise en place de passages fauniques sous ou par dessus les infrastructures routières. Le rôle de ces passages est de rétablir la connexion entre les habitats situés de part et d'autre de la route et d'assurer les déplacements sécuritaires de la faune entre ces habitats (Clevenger, 2005; Rodriguez et al., 1996). Afin d'assurer une efficacité maximale, les passages doivent être adaptés aux espèces visées, à leur écologie comportementale et aux habitats qu'ils privilégient dans leurs déplacements (Glista et al., 2009; Mata et al., 2008). Malgré l'augmentation des connaissances dans ce domaine, celles concernant l'efficacité des passages fauniques sont encore fragmentaires (Mata et al., 2008).

De ce fait, l'objectif de cet essai est d'examiner les informations disponibles et pertinentes sur la fréquentation des passages fauniques par la petite faune afin de faire des recommandations sur leur mise en place, leur construction et leur aménagement lors de leur implantations sur le réseau routier québécois. Dans le présent travail, le terme petite faune

désigne principalement les espèces suivantes : le porc-épic d'Amérique (*Erethizon dorsatum*), le renard roux (*Vulpes vulpes*), la marmotte commune (*Marmota mormax*), le lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*), le rat musqué (*Ondatra zibethicus*), la belette (*Mustela sp.*), le vison d'Amérique (*Mustela vison*), la martre d'Amérique (*Martes americana*) et le raton laveur (*Procyon lotor*).

Pour atteindre cet objectif, le présent essai présentera d'abord une revue de littérature sur les problématiques engendrées par les réseaux routiers sur les populations fauniques et leurs habitats. De plus, elle définira la notion de passage faunique et présentera les fonctions que devraient remplir ces passages pour ensuite exposer les différents types de passages les plus fréquemment employés. Finalement, cette revue de littérature se terminera par une description des facteurs influençant la fréquentation des passages fauniques par les individus des différentes espèces de petite faune. Par la suite, des données, récoltées à l'été et l'automne 2009 sur la fréquentation des passages fauniques par la petite faune dans certains tronçons réaménagés de la route 175 au Québec, seront analysées afin de comparer les premiers indices de fréquentation des différents types de passages aux résultats observés dans la littérature. Ces deux sections permettront de proposer des recommandations sur la mise en place, la construction et l'aménagement de passages fauniques sur le réseau routier québécois.

Les informations recueillies pour la rédaction de cet essai proviennent majoritairement d'articles scientifiques et d'actes de congrès scientifiques dédiés à ce sujet (exemple : International Conference on Ecology and Transportation (ICOET)). Quelques unes sont également issues de publications gouvernementales ou de livres. Cette revue de littérature exhaustive des publications récentes des différents experts a permis de récolter, de prendre connaissance et de documenter les cas de mise en place de passages fauniques et leur utilisation par la petite faune, au cours des années, en Amérique et en Europe.

1. IMPACTS DU RÉSEAU ROUTIER SUR LA PETITE FAUNE TERRESTRE

Les réseaux routiers engendrent plusieurs impacts sur la faune et ses habitats. Ces effets, parfois négatifs et parfois positifs, sont responsables de plusieurs modifications de l'environnement qui peuvent avoir plusieurs conséquences sur les populations.

1.1. Impacts sur les populations de petite faune

La mortalité induite suite aux collisions avec les véhicules est l'impact le plus visible des réseaux routiers sur la faune (Smith-Patten and Patten, 2008). Environ un million de vertébrés sont tués tous les jours sur les routes des États-Unis (Forman and Alexander, 1998). La mortalité causée par les collisions avec les véhicules est une cause de mortalité additive à celles d'origine naturelle. L'importance de ce type de mortalité pour une population va dépendre de son ampleur comparativement aux sources de mortalité naturelle (Forman et al., 2003). Elle peut parfois être plus importante que les causes naturelles comme ce fut le cas pour le blaireau (*Meles meles*) en Europe avant l'installation des mesures d'atténuation (Forman et al., 2003). Les facteurs affectant les risques de mortalité dus aux collisions peuvent être séparés en deux catégories : 1) les caractéristiques liées au comportement et à l'écologie des espèces et 2) les caractéristiques liées aux infrastructures routières et aux habitats adjacents (Dodd et al., 2004; Forman et al., 2003; Grilo et al., 2009; Litvaitis and Tash, 2008).

Tout d'abord, certaines espèces sont davantage vulnérables à la mortalité due aux collisions. Les espèces dont les populations ont de faibles densités, un faible taux de reproduction et une durée de vie relativement longue sont particulièrement affectées par ce type de mortalité (Alexander and Waters, 2000; Fahrig and Rytwinski, 2009 ; Forman et al., 2003). En effet, ces espèces ne peuvent compenser les pertes additionnelles dues aux collisions par un taux de reproduction élevé, ce qui pourrait éventuellement compromettre la persistance de ces populations (Fahrig and Rytwinski, 2009; Jaeger et al., 2005). Les espèces qui doivent effectuer de nombreux déplacements que ce soit pour avoir accès aux

ressources, pour la migration ou pour la dispersion sont également plus sensibles à la mortalité due aux collisions (Alexander and Waters, 2000; Fahrig and Rytwinski, 2009 ; Forman et al., 2003). En effet, la fréquence à laquelle ces espèces vont traverser les routes est plus élevée que pour les espèces davantage sédentaires augmentant ainsi les risques de mortalité (Fahrig and Rytwinski, 2009 ; Forman et al., 2003). Cette vulnérabilité est d'autant plus importante chez les espèces où la vitesse de déplacement est relativement faible (Fahrig and Rytwinski, 2009). Ensuite, les espèces généralistes seront plus affectées que les espèces spécialistes puisqu'elles auront tendance à davantage s'aventurer à proximité des routes les rendant ainsi plus susceptibles aux collisions. En contrepartie, les espèces spécialistes ont souvent de petites populations et un faible taux de reproduction, ce qui les rend plus sensibles aux impacts que peut avoir l'introduction d'une source additionnelle de mortalité (Forman et al., 2003).

Certaines espèces évitent les infrastructures routières en raison du bruit ou de l'ouverture qu'elles représentent dans le milieu. Cependant, il y en a d'autres qui sont attirées par les routes parce qu'elles apportent une source supplémentaire de nourriture que ce soit par la présence de grains renversés lors du transport, de plantes, d'insectes, d'animaux (reptiles, amphibiens) qui se réchauffent au soleil ou de carcasses (Alexander and Waters, 2000; Fahrig and Rytwinski, 2009 ; Forman et al., 2003; Smith-Patten and Patten, 2008). Ces espèces sont donc plus susceptibles de se faire frapper. Ensuite, les risques de collisions avec la faune augmentent avec la densité des individus présents (Brockie et al., 2009; Clevenger et al., 2003). Finalement, le nombre de mortalités est lié aux différents pics d'activités journaliers et saisonniers des espèces. Ainsi, les collisions augmenteront de façon saisonnière selon les périodes de reproduction, de migration et de dispersion (Bissonette and Cramer, 2008; Grilo et al., 2009; Gryz and Krauze, 2008; Smith-Patten and Patten, 2008).

Plusieurs caractéristiques des routes et de l'environnement adjacent influencent les taux de mortalité (Figure 1.1). La vitesse des véhicules ainsi que leur densité seraient les caractéristiques des routes ayant le plus d'effet (Clevenger et al., 2003; Forman et al., 2003;

Forman and Alexander, 1998; Grilo et al., 2009). De toute évidence, plus les véhicules se déplacent rapidement et plus leur nombre est important plus les risques de collisions sont élevés. Cependant, lorsque la densité de véhicules atteint un certain seuil, le nombre de mortalités cesse d'augmenter puisque le nombre d'individus, d'une espèce donnée, qui tentent de traverser décroît, repoussé par cet obstacle qu'est devenue la circulation (Alexander et al., 2005; Forman et al., 2003; Brockie et al., 2009). Ensuite, Clevenger et al. (2003) ont démontré que la topographie de la route influençait également la mortalité. Ainsi, dans le cas de l'original (*Alces alces*), le nombre de collisions était moins élevé dans les sections de routes surélevées ou plus basses par rapport à l'environnement adjacent (Leblanc et al., 2005). Finalement, il a été démontré que la présence d'habitats de qualité à proximité des routes augmente les risques de collisions puisque le nombre d'individus qui s'y logent est plus important (Grilo et al., 2009).

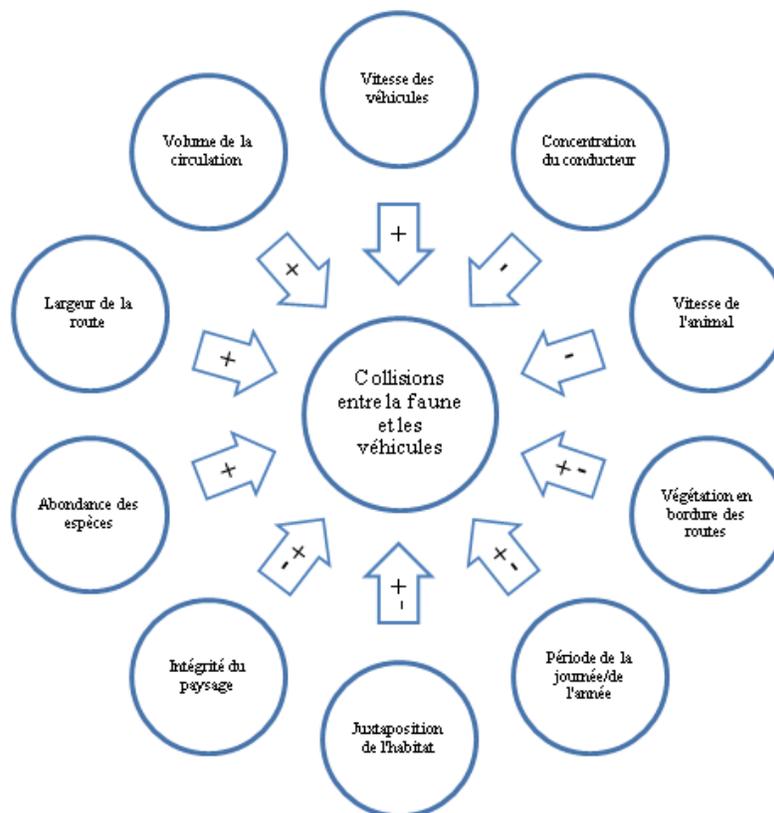


Figure 1.1. Facteurs qui influencent les collisions avec la faune. Les effets positifs (+), négatifs (-) et mixtes (±) sont indiqués. Modifiée de Litvaitis and Tash, 2008.

En plus d'être une source additive de mortalité, les collisions avec la faune contribuent à l'effet de filtre des routes en subdivisant les populations puisqu'elles empêchent les individus de migrer d'une sous-population à une autre (Jaeger et al., 2005).

De par leur longueur, les infrastructures routières sont difficilement contournables et représentent un risque de mortalité lorsque des animaux tentent de les franchir créant ainsi un filtre aux déplacements des individus (Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2000). Le terme effet de barrière est également employé pour décrire ce phénomène qui est défini comme étant la difficulté d'un individu à se déplacer entre plusieurs parcelles d'habitats due à une restriction de sa mobilité (Balkenhol and Waits, 2009; Forman and Alexander, 1998; Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2000; Rodriguez et al., 1996; Yanes et al., 1995). Les caractéristiques physiques des routes, la circulation et les modifications comportementales faites par les individus sont tous des éléments qui contribuent à l'effet de filtre (Alexander and Waters, 2000; Balkenhol and Waits, 2009; Forman and Alexander, 1998; Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2000; Rico et al., 2007). La largeur est la principale caractéristique de la chaussée qui affecte la perméabilité de l'infrastructure (Forman and Alexander, 1998; Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2000). En effet, plusieurs espèces proies ne s'aventurent pas dans les endroits à découvert où elles seraient vulnérables à la prédation (Foresman, 2004). De plus, certaines espèces spécialisées des forêts intérieures évitent également les espaces ouverts et les habitats situés en bordure des forêts. En général, les espèces de petits mammifères ne s'aventurent pas sur des routes où la distance entre les limites de la forêt est de plus de 20 mètres (Forman et al., 2003).

La perméabilité des routes est grandement influencée par la densité de véhicules qui y circulent (Forman and Alexander, 1998; O'Brien, 2006). En effet, plus la densité est élevée moins les animaux seront portés ou seront capables de franchir la chaussée (Alexander et al., 2005; O'Brien, 2006). Ainsi, seule une route où circulent moins de 1000 véhicules par jour ne sera pas considérée comme une entrave aux déplacements de la majorité des espèces (Tableau 1.1). De plus, Alexander et al. (2005) ont démontré qu'une densité de

véhicules se situant entre 300 et 5000 véhicules par jour correspondait à une diminution de la perméabilité des routes pour une communauté biologique.

Tableau 1.1. Influence de la densité du trafic sur la perméabilité. Modifié de O'Brien, 2006.

Volume de la circulation	Perméabilité de la route
Routes avec moins de 1 000 véhicules par jour	Perméables pour la majorité des espèces
Routes avec 1 000 à 4 000 véhicules par jour	Perméables pour quelques espèces, mais éviter par les espèces les plus sensibles
Routes avec 4 000 à 10 000 véhicules par jour	Barrière importante : le bruit et les déplacements des véhicules vont repousser plusieurs individus. Mortalité élevée.
Routes avec plus de 10 000 véhicules par jour	Imperméables pour la majorité des espèces.

La présence d'infrastructure routière entraîne souvent une modification comportementale chez les individus afin de les éviter (Forman and Alexander, 1998; Forman et al., 2003; O'Brien, 2006; Trombulak and Frissell, 2000). Ainsi, les individus de certaines espèces de grands et petits mammifères vont modifier leur domaine vital ou leur corridor de déplacements pour s'éloigner des routes (Trombulak and Frissell, 2000). Plus la densité de véhicule sera élevée plus les modifications dans la superficie et la position du domaine vital seront importantes (Forman et al., 2003).

Il y a trois catégories d'animaux qui sont davantage vulnérables à l'effet de filtre aux déplacements causé par les routes (O'Brien, 2006). Tout d'abord, il y a les espèces dont les populations locales sont de petite taille et où les individus possèdent de grands domaines vitaux, tels les grands carnivores. Ensuite, il y a les espèces qui doivent effectuées des migrations journalières, comme les cerfs qui doivent quitter la forêt pour se diriger vers leur site d'alimentation, ou saisonnières, mais de courtes distances, comme les grenouilles qui doivent se rendre à des étangs pour se reproduire. Finalement, il y a les animaux qui

doivent entreprendre des migrations saisonnières de grandes distances, tels les caribous (O'Brien, 2006).

L'effet de filtre aux déplacements engendré par les routes a plusieurs conséquences sur les populations. En effet, certaines ressources (nourriture, site de repos, partenaire sexuel, site d'élevage) deviennent moins accessibles ce qui entraîne une diminution du fitness des individus, c'est-à-dire une diminution de leur succès reproducteur et de leur survie occasionnant par le fait même une réduction probable de la persistance des populations (Balkenhol and Waits, 2009; Jaeger et al., 2005). De plus, cette propension des routes à nuire aux déplacements des individus contribue à la subdivision des populations en limitant les processus d'émigration et d'immigration qui se produisent généralement entre les sous-populations (Forman and Alexander, 1998; Forman et al., 2003, Jaeger et al., 2005). Ainsi, les individus immigrants sont moins susceptibles d'atteindre les populations vivant dans des habitats entourés par un réseau routier entraînant ainsi une diminution de la diversité génétique (Balkenhol and Waits, 2009; Forman and Alexander, 1998; Forman et al., 2003, Jaeger et al., 2005).

Une diminution de la diversité génétique peut réduire les probabilités qu'une population persiste dans le temps puisque c'est de la variabilité génétique que dépend la capacité d'adaptation des populations à des conditions changeantes (Jaeger et al., 2005; Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2000). Ainsi, les petites populations sont davantage vulnérables aux changements qui peuvent survenir : plus la population est petite plus les risques d'extinction, dus à des événements stochastiques, sont élevés (Forman and Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Jaeger et al., 2005; Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2000; Spellerberg, 1998; Trombulak and Frissel, 2000). Finalement, la dispersion des individus est également compromise réduisant la capacité des individus à coloniser de nouveaux habitats ou à recoloniser les habitats laissés libres suite à l'extinction de population (Forman and Alexander, 1998; Jaeger et al., 2005). La figure 1.2 résume les effets des routes que sont la mortalité et l'effet de filtre sur les individus et les populations.

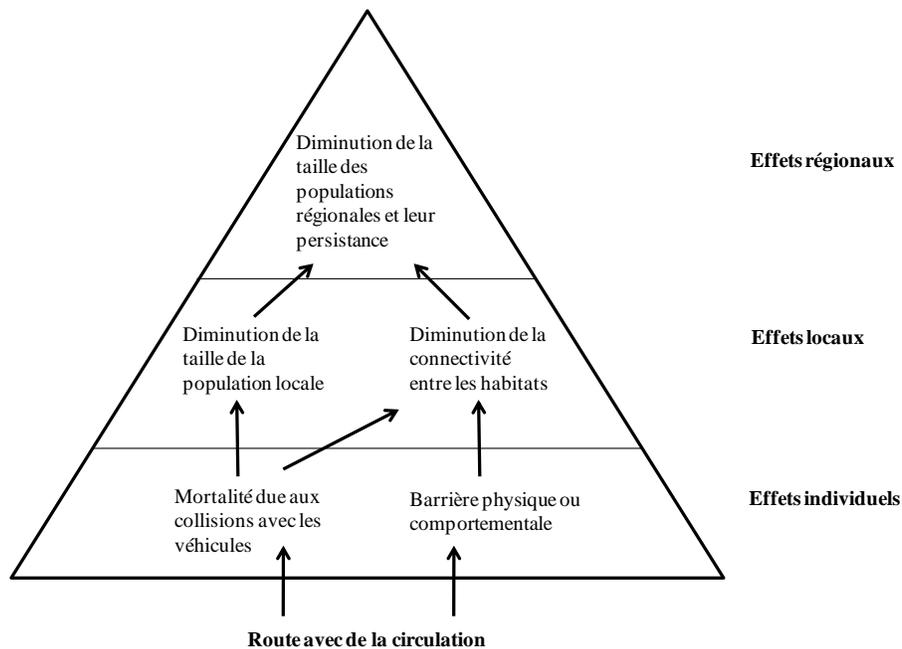


Figure 1.2. Effets des routes sur les individus et les populations. Modifiée de Forman et al., 2003.

1.2. Impacts sur les habitats

La construction d'une route correspond à une perte directe de l'habitat puisque l'habitat existant est retiré pour faire place à l'infrastructure routière (Forman et al., 2003; Jaeger et al., 2005; Spellerberg, 1998). Cette perte d'habitat est définitive, mais relativement faible puisqu'elle ne comprend que la superficie de l'infrastructure routière (Balkenhol and Waits, 2009). La section d'habitat perdue pour la construction de la route entraîne ensuite des pertes d'habitat de façon indirecte puisqu'elle cause la fragmentation du paysage (Unité de recherche Ecosystèmes Montagnards, 2006). La fragmentation est définie comme étant la séparation de grands massifs d'habitats naturels en plusieurs vestiges dispersés, de largeur variable (Smith and Smith, 2001). Cette fragmentation induite par les réseaux routiers agit sur l'habitat de trois façons : 1) une augmentation de l'isolement des vestiges d'habitat, 2) une modification de la proportion et de la qualité des habitats et 3) une modification des habitats situés à proximité des routes (Unité de recherche Ecosystèmes Montagnards, 2006).

Tel qu'expliqué précédemment, les routes agissent comme un filtre limitant les déplacements des individus. De ce fait, les échanges entre les parcelles d'habitat résiduel sont compromis affectant la capacité des individus à atteindre certains habitats essentiels à leur survie (Unité de recherche Ecosystèmes Montagnards, 2006). De plus, en sectionnant les éléments du paysage qui facilitent la dispersion (corridors écologiques), les routes ont pour conséquence d'augmenter les distances que doivent parcourir les individus entre les fragments d'habitat puisque ces derniers doivent faire des détours pour ne pas compromettre leur sécurité (Unité de recherche Ecosystèmes Montagnards, 2006). Il en résulte une perte indirecte d'habitats puisque ceux-ci sont toujours présents, mais difficilement accessibles aux individus.

La modification de la proportion et de la qualité des habitats engendre également une perte indirecte d'habitats. En effet, ce n'est pas la superficie de l'habitat qui est modifiée, mais ses caractéristiques ce qui le rend moins favorable pour certaines espèces correspondant ainsi à une perte d'habitats pour ces dernières. En contrepartie, certaines espèces sont favorisées par ces changements (Forman et al., 2003; Smith and Smith, 2001). En général, une parcelle d'habitat possède deux composantes en ce qui a trait aux milieux qui la forment un milieu dit de bordure et un d'intérieur (Smith and Smith, 2001). La bordure correspond à la bande de végétation qui entoure la parcelle d'habitat alors que le milieu intérieur est celui situé au centre de la bordure. La largeur de la bordure dépend de la superficie et de la forme de la parcelle (Figure 1.3). Les espèces animales et végétales qui la composent sont différentes des espèces présentes dans le milieu intérieur à cause de conditions environnementales distinctes qui la caractérisent (Smith and Smith, 2001). La réponse des organismes à ces conditions différentes est appelée l'effet de bordure.

Lorsqu'il y a fragmentation de l'habitat, l'effet de bordure des parcelles créées est augmenté réduisant ainsi la quantité d'habitats disponibles pour les espèces d'intérieur (Forman et al., 2003; Rico et al., 2007; Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2000; Smith and Smith, 2001). En effet, les espèces spécialisées des milieux intérieurs sont particulièrement vulnérables à la diminution de la superficie des parcelles

d'habitat puisqu'il en résulte un accroissement de la largeur de la bordure, partie de l'habitat qui est généralement évitée par ces espèces (Forman et al., 2003; Smith and Smith, 2001). Ainsi, ces espèces subissent une perte d'habitat disproportionnée à ce qui a réellement été retiré pour la construction des infrastructures routières (Figure 1.4) (Forman et al., 2003).

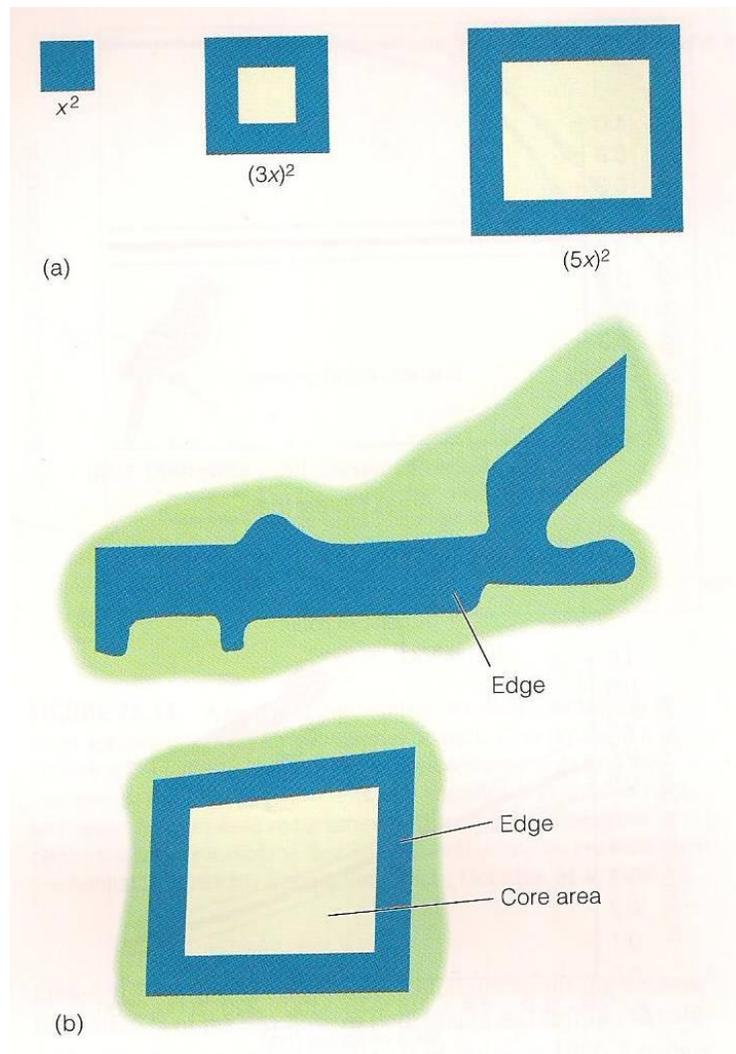


Figure 1.3. Représentation de l'importance de l'effet de bordure. A) En conservant toujours la même superficie d'habitat de bordure, il est possible de voir que son ratio par rapport à l'habitat d'intérieur diminue lorsque la superficie de la parcelle augmente. B) La superficie de la parcelle n'est pas le seul facteur qui entre en ligne de compte pour déterminer l'importance de l'effet de bordure. La forme joue également un rôle critique. Tirée de Smith and Smith, 2001.

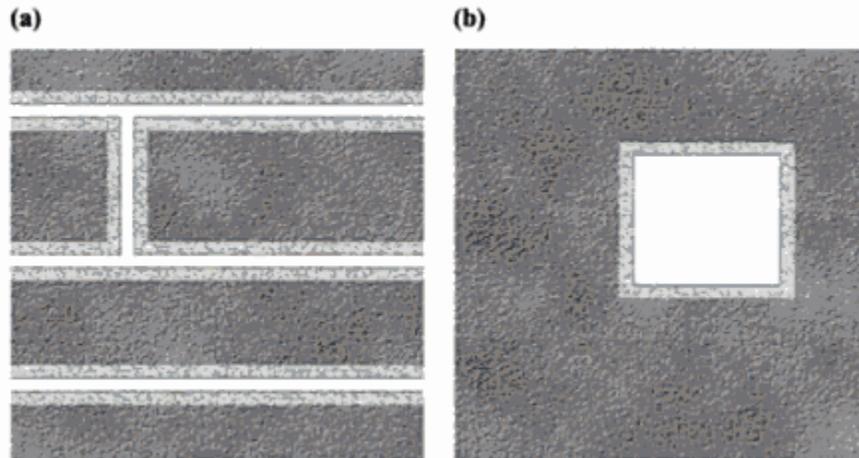


Figure 1.4. Perte de superficie de la forêt intérieure. La partie foncée correspond à la superficie de forêt d'intérieure, la partie gris pâle correspond à la superficie de la bordure et la partie blanche correspond à la superficie de l'habitat retirée (cette superficie est la même dans les deux diagrammes). A) Suite à la construction de routes, il ne reste que 66 % de la superficie de la forêt d'intérieure et l'habitat est maintenant séparé en cinq parcelles. B) Lorsque la perte d'habitat est concentrée en un seul bloc, la superficie restante de forêt d'intérieure est de 84 % et l'habitat résiduel est toujours d'un seul tenant. Tirée de Forman et al., 2003.

En plus d'induire un effet de bordure plus prononcé, la présence des réseaux routiers entraîne également une modification dans la qualité des habitats situés à proximité. Ce changement de qualité est exprimé par une modification du nombre d'individus présents et du comportement (évitement) des individus tel que présenté précédemment (Forman et al., 2003). Plusieurs études ont démontré que la superficie des domaines vitaux de plusieurs espèces augmentait à proximité des routes, ce qui signifie que la qualité de l'habitat est une moins bonne pour ces espèces (Forman et al., 2003). En effet, l'augmentation de la superficie du domaine vital signifie que les individus doivent couvrir une étendue plus importante pour répondre à leurs besoins diminuant par le fait même la densité de la population et possiblement le succès reproducteur (Forman et al., 2003). Par contre, la qualité des habitats peut également être améliorée suite à la construction d'une infrastructure routière pour certaines espèces, telle la marmotte commune, en créant des microclimats ou en représentant une source supplémentaire de nourriture (Forman et al., 2003).

Au fil des années, les routes contribueront à modifier les habitats adjacents par perturbations des éléments physiques et chimiques de l'environnement et la composition biologique du milieu (Forman and Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Trombulak and Frissell, 2000). Selon Trombulak and Frissell (2000), huit caractéristiques physiques de l'environnement sont modifiées par les routes à long terme soit la densité du sol, la température, la quantité d'eau présente dans le sol, la luminosité, la poussière, l'écoulement de surface, le type d'écoulement et la sédimentation.

Plusieurs classes d'éléments chimiques se retrouvent dans l'environnement suite à l'utilisation et l'entretien des routes soient les métaux lourds, le sel, les molécules organiques, ozone et les nutriments (Forman and Alexander, 1998; Trombulak and Frissell, 2000). Ces éléments sont transportés par ruissellement dans l'environnement lors des averses ou de la fonte des neiges (Forman and Alexander, 1998). La composition biologique du milieu sera modifiée par la dominance d'espèces plus tolérantes aux nouvelles conditions apportées par les changements dans l'environnement. Ces espèces peuvent parfois être des espèces exotiques invasives (Forman and Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Trombulak and Frissell, 2000). La dispersion de ces espèces est favorisée par trois mécanismes induits par les routes : la création d'habitat adéquat suite à la modification des conditions de l'environnement, l'implantation de ces espèces est favorisée par la libération des niches écologiques suite la disparition des espèces indigènes et les déplacements sont facilités par différents vecteurs (Trombulak and Frissell, 2000).

La figure 1.5 résume les principaux effets des routes sur la faune et ses habitats ainsi que les conséquences possibles qui leurs sont associées. Ces dernières sont séparées selon deux types : les conséquences écologiques et les conséquences génétiques.

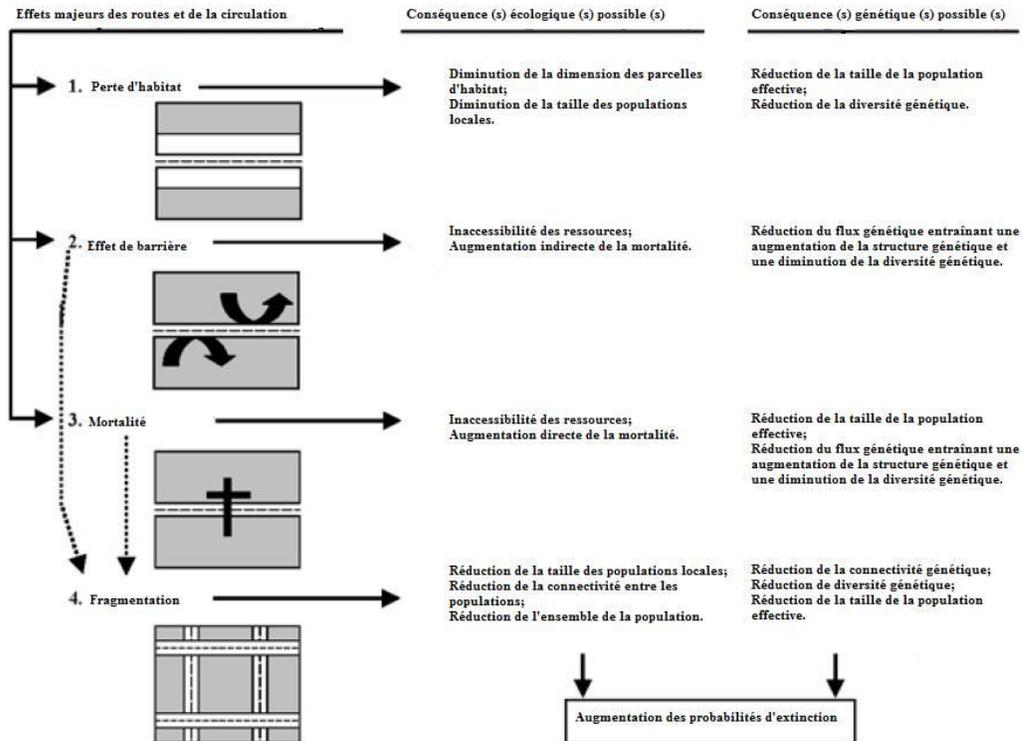


Figure 1.5. Présentation des effets majeurs des routes sur la faune et les conséquences écologiques et génétiques possibles qu'ils engendrent. Modifiée de Balkenhol and Waits, 2009.

Bien que dans certains pays le réseau routier n'occupe qu'un faible pourcentage de la superficie du territoire, les impacts engendrés par ce dernier sont beaucoup plus étendus (Forman and Alexander, 1998; Trombulak and Rissell, 2000). Aux États-Unis, le réseau routier représente moins de 1 % de la superficie du territoire alors que la superficie affectée par ce dernier est estimée à environ 20 % (Forman, 2000). Les facteurs écologiques servant à déterminer la superficie qui est affectée par les réseaux routiers sont liés aux espèces, au sol et à l'eau. Cette zone affectée est caractérisée par le fait qu'elle est très asymétrique, en raison de la direction naturelle de l'écoulement de l'eau ainsi que de la topographie présente de chaque côté de la route, et elle est très sinueuse (Forman, 2000; Forman and Deblinger, 2000).

2. LES PASSAGES FAUNIQUES

Les passages fauniques sont des structures spécifiquement conçues pour relier les habitats situés de part et d'autre de la route et assurées que la faune puisse se déplacer de façon sécuritaire entre ces derniers (Clevenger, 2005). L'objectif des passages fauniques est d'augmenter la perméabilité des routes aux déplacements de la faune tout en diminuant le nombre de collisions (Forman et al., 2003). Lorsqu'il est question de passages fauniques, les termes connectivité et perméabilité sont souvent employés, mais il est important de faire une distinction entre les deux. Le terme connectivité signifie : qui est capable de fournir une connexion, c'est-à-dire une liaison entre différentes choses, ou dans ce cas-ci lieux (Office de la langue française, 2010). Ainsi, lorsque des passages fauniques sont présents, il est possible de penser que les habitats sont connectés au sens fondamental (une liaison entre deux lieux) du mot et que cette connectivité augmentera avec le nombre de passages (Cramer and Bissonette, 2005). Pourtant, cela ne signifie pas que l'environnement soit perméable pour les différentes espèces (Bissonette and Cramer, 2008; Cramer and Bissonette, 2005). En effet, le concept de connectivité est davantage employé d'un point de vue anthropique alors que la perméabilité est un concept davantage lié à la perspective animale.

Le concept de perméabilité implique qu'un animal a la possibilité de se mouvoir à travers son domaine vital ou son territoire et d'effectuer ces déplacements saisonniers sans qu'il ne rencontre d'entraves lors de ces déplacements (Bissonette and Cramer, 2008; Forman et al., 2003). Ce phénomène implique également que la dispersion des individus peut se faire librement (Forman et al., 2003). Donc, tout ce qui entrave les mouvements ou accroît les distances à parcourir diminue la perméabilité (Bissonette and Cramer, 2008). De plus, la perméabilité est relative à l'espèce puisque la petite faune n'utilisera pas l'habitat de la même façon que la grande ou un prédateur de la même manière qu'une proie. Ainsi, les passages fauniques assurent la perméabilité entre les habitats s'ils permettent aux animaux de se mouvoir librement pour accomplir les déplacements essentiels à leur survie (recherche de nourriture, recherche de site de repos, recherche de partenaire sexuel), aux

processus de migration et aux processus de dispersion (Bissonette and Cramer, 2008; Cramer and Bissonette, 2005; Forman et al., 2003). Donc, des passages fauniques peuvent être présents et offrir une certaine connectivité entre les habitats, mais la perméabilité sera basse si seulement quelques espèces ou individus ne les utilisent. Conséquemment, la connectivité peut être maintenue par les passages fauniques, mais leur emplacement, leur type, leur nombre et leur configuration détermineront si les réseaux routiers sont perméables ou non (Bissonette and Cramer, 2008; Cramer and Bissonette, 2005).

2.1. Types de passages fauniques

Les passages fauniques sont séparés en deux grandes catégories soit les passages inférieurs et les passages supérieurs. La première catégorie regroupe tous les types de passages qui permettent à la faune de circuler sous les routes alors que la deuxième rassemble ceux qui passent au-dessus des routes (van der Ree et al., 2007). À l'intérieur de ces catégories, les principales différences entre les types de passages concernent leur coût de construction, leurs dimensions et leur spécificité vis-à-vis des espèces (Ostiguy, 2006). Des clôtures sont généralement installées pour diriger les animaux vers les passages. Ces dernières, en plus d'agir comme un entonnoir augmentant ainsi l'efficacité des passages, permettent de diminuer les collisions en empêchant la faune d'accéder à la chaussée (Ng et al., 2004).

2.1.1. Tuyaux secs

Le tuyau sec est un ponceau de faible dimension (0,3 à 2,0 mètres) installé spécifiquement pour assurer le passage de la faune (Figure 2.1) (Glista et al., 2009). Pour assurer l'utilisation de ce type de passage à l'année, il est généralement placé de manière à éviter les infiltrations d'eau (Bouffard, 2008; Ostiguy, 2006). La faune longe normalement les cours d'eau lors de ces déplacements quotidiens ou annuels (Beier and Loe, 1992) ainsi le tuyau sec peut être installé à proximité d'un ponceau de cours d'eau qui ne possède pas de structure de franchissement. Conséquemment, son usage par la faune n'en sera que favorisé. De tous les types de passages, les tuyaux secs sont parmi les plus économiques

que ce soit pour les coûts de construction ou les coûts reliés à la naturalisation des sites (Glista et al., 2009). Cependant, leur dimension ainsi que leur apparence peuvent limiter le nombre d'espèces qui l'emprunteront (Glista et al., 2009). En effet, la petite faune compose la totalité des espèces visées par ce type de passage et son aspect (long tunnel) peut rebuter certaines espèces à s'y aventurer selon leur écologie comportementale (Glista et al., 2009; Ostiguy, 2006).



Figure 2.1. Tuyau en béton armé de 600 mm de diamètre (TBA 600) à proximité du ponceau du ruisseau des Brûlés sous la route 175. Photo : MTQ, photo non publiée.

2.1.2. Ponceaux de drainage

Les ponceaux de drainage sont installés sous les routes afin de laisser circuler l'eau, et ce, sans considération particulière pour permettre le passage de la faune (Figure 2.2). Cependant, des études ont démontré que ce type de ponceau est régulièrement fréquenté par plusieurs espèces de vertébrés (Ascensao and Mira, 2007; Mata et al., 2005; Ng et al., 2004; Rodriguez et al., 1996; Yanes et al., 1995). Il existe deux types de ponceaux de drainage soit les ponceaux permettant la continuité des ruisseaux en aval de la route et les ponceaux

servant à évacuer l'eau de ruissellement accumulée le long des routes dans les fossés (EPA, 2010). Ces structures sont très répandues le long des routes et ont l'avantage d'être peu dispendieuses à l'inverse des passages spécifiquement aménagés pour la faune (Ascensao and Mira, 2007). En effet, ces ponceaux sont automatiquement installés le long des routes puisqu'ils permettent l'écoulement naturel de ruisseau en plus de contrôler le niveau d'eau présent dans les fossés limitant ainsi les dommages qui pourraient être causés (EPA, 2010). Ces ponceaux de grosseurs variables possèdent sensiblement les mêmes caractéristiques que les tuyaux secs à la différence que l'eau y circule à l'année ou du moins une partie. La présence de ces structures représente un avantage, en particulier sur les routes déjà construites, puisqu'il ne suffit que de quelques modifications (installation de clôtures, aménagement de couvert à proximité du ponceau, etc.) pour améliorer leur fréquentation par la faune et ainsi augmenter la perméabilité du réseau routier (Mata et al., 2005; Rodriguez et al., 1996; Yanes et al., 1995). Cependant, ces ponceaux ne conviennent pas à toutes les espèces et pourraient être un obstacle pour certaines d'entre elles.



Figure 2.2. Ponceau de drainage situé sous la rue Principale à Saint-Gilbert au Québec.
Photo : Maryse Boucher

2.1.3. Tablettes en porte-à-faux

Les tablettes en porte-à-faux sont des tablettes, en bois ou en acier, ajoutées à l'intérieur de ponceaux existants. Ces tablettes sont fixées à même les parois du ponceau (Figure 2.3 et figure 2.4). Idéalement, elles devraient être installées à une hauteur suffisante pour être émergée à l'année. Un dégagement minimal de 35 cm en haut de la tablette favoriserait sa fréquentation par un maximum d'espèces (Ostiguy, 2006). Bien qu'il s'agisse d'un moyen économique et relativement simple d'augmenter la perméabilité des ponceaux existants, l'usage de cette méthode est limité par la capacité hydraulique des ponceaux. En effet, la tablette ne doit pas nuire au fonctionnement du ponceau en obstruant le passage de l'eau, par sa présence ou en favorisant l'accumulation de débris (Foresman, 2004).

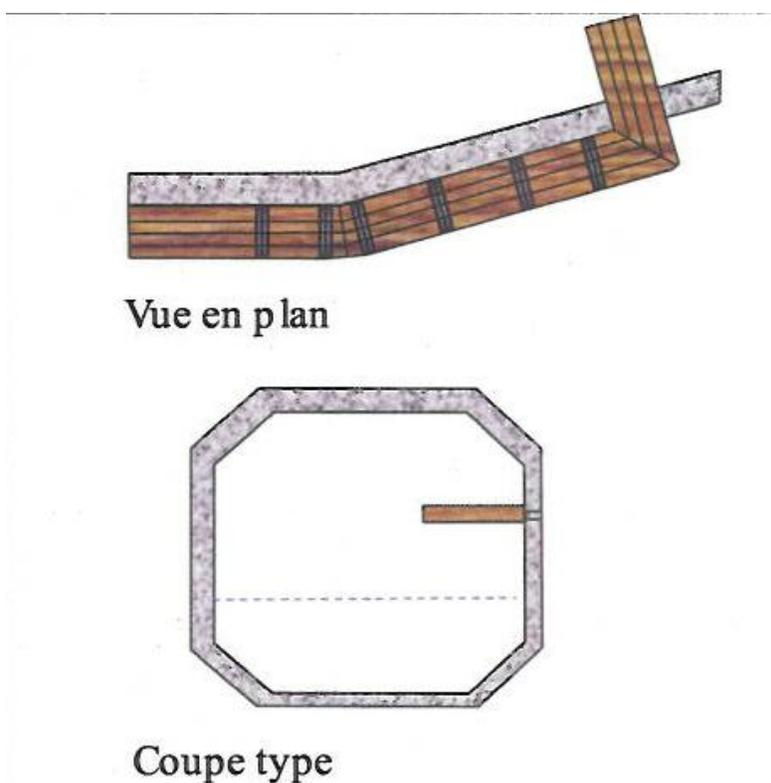


Figure 2.3. Schéma d'une tablette aménagée à l'intérieur d'un ponceau. Tirée de Ostiguy, 2006.



Figure 2.4. Tablette en bois en porte-à-faux installée à l'intérieur du ponceau d'un ruisseau sans nom sous la route 175. À noter que la construction de ce passage n'est pas encore terminée, car l'aménagement entre le milieu adjacent et le passage n'est pas encore fait. Photo : MTQ, photo non publiée.

2.1.4. Ponceaux à deux ou plusieurs niveaux

Un ponceau à deux ou plusieurs niveaux est un ponceau auquel a été ajouté une ou plusieurs banquettes créant ainsi un sentier servant au franchissement du cours d'eau par la faune (Figure 2.5). La banquette ou l'une des banquettes devraient toujours être accessibles, peu importe la période de l'année (Ostiguy, 2006). Ces banquettes sont construites à même la structure du ponceau lors de sa fabrication. Pour ce faire, le ponceau doit être préalablement surdimensionné afin de conserver les propriétés hydrauliques correspondant au cours d'eau à traverser. L'utilisation de ponceaux rectangulaires pour la construction de ce type de passage devrait être favorisée à celle de ponceaux circulaires puisqu'ils offrent un meilleur dégagement (Jackson and Griffin, 2000). L'usage de ce type de passage est peu dispendieux puisque les ponceaux doivent être construits pour permettre la traversée du cours d'eau et que le surdimensionnement est parfois minime par rapport à la structure elle-

même (Bouffard, 2008). L'utilisation de ce passage par la faune dépend de la grosseur de la structure. En outre, la luminosité y est plus limitée que sous les sentiers aménagés, mais plus abondante qu'à l'intérieur des tuyaux secs ce qui influence également les espèces qui fréquenteront se type de structure (Ostiguy, 2006).



Figure 2.5. Ponceau à deux niveaux situé sous le boulevard Robert-Bourassa à Québec. Tirée de Bouffard, 2008.

2.1.5. Lits mineurs (ou pied sec)

Le lit mineur correspond au maintien des berges naturelles à l'intérieur du ponceau ou sous un pont (Figure 2.6). Ce type de passage se crée parfois naturellement grâce aux matériaux emportés par le courant et déposés sur le radier (Ostiguy, 2006). Cependant, le dégagement entre les parois de la structure doit être suffisant pour qu'une partie des berges soient exondées en période d'étiage (Ostiguy, 2006). Ce type de passage peu coûteux est toutefois limitant puisqu'il n'est accessible qu'une partie de l'année seulement.



Figure 2.6. Lit mineur construit à la décharge du lac Horatio-Walker sous la route 175, au Québec. Photo : MTQ, photo non publiée.

2.1.6. Lits majeurs

Les lits majeurs correspondent à des sentiers aménagés sur les berges des cours d'eau lorsque ces derniers passent sous les ponts (Figure 2.7). Contrairement au lit mineur, le lit majeur restera exondé tout au long de l'année. Pour améliorer l'efficacité de ce type de passage, la largeur du champ de vision de la faune devrait être maximisée en éloignant le sentier du mur de soutènement du pont (Ostiguy, 2006). Un des avantages avec ce type de passage est que le terrain naturel est utilisé ce qui augmente l'efficacité de la structure. De plus, les lits majeurs permettent d'accueillir un grand nombre d'espèces puisqu'ils s'intègrent davantage aux corridors de déplacements préférentiels que sont les cours d'eau (Glista et al., 2009). Par contre, ce type d'ouvrage est dispendieux et il y a des risques que les humains fréquentent également ces sentiers, ce qui pourrait en limiter l'usage par certaines espèces, en particulier en milieu forestier (Ostiguy, 2006).



Figure 2.7. Lit majeur situé sous la route 175 à la décharge du lac à Noël. Photo : Maryse Boucher

2.1.7. Tunnels mixtes

Les tunnels mixtes sont des passages dont l'usage est destiné à plusieurs utilisateurs (Figure 2.8). Ainsi, le passage faunique peut être jumelé à une piste cyclable, un sentier pédestre, à une route peu passante ou un chemin agricole (Ostiguy, 2006). La structure doit être suffisamment large pour permettre une séparation distincte entre la section destinée aux humains et celle destinée à la faune. La partie conçue pour la faune sera aménagée à l'aide de végétation, de souches et de roches de manière à être favorable pour la faune et hostile pour les humains (Ostiguy, 2006). Bien que ce type de passage soit coûteux et représente un défi en ce qui a trait à l'aménagement, sa multidisciplinarité en fait une structure intéressante à utiliser, et ce, en particulier en milieu fragmenté où les conciliations entre les humains et la faune font souvent parties des difficultés d'aménagement.



Figure 2.8. Tunnel mixte aménagé sous le boulevard Robert-Bourassa à Québec. Tirée de Bouffard, 2008.

2.1.8. Écopont

L'écopont est un pont qui passe au-dessus de la route et qui est recouvert de terre, de végétation ainsi que de différents éléments normalement présents dans les habitats naturels (roches, chicots, souches, plans d'eau, etc.) (Figure 2.9) (van der Ree et al., 2007). L'utilisation de l'écopont est très répandue en Europe où les premiers ont été construits en 1960 pour satisfaire les intérêts des chasseurs qui craignaient que les routes représentent un obstacle aux déplacements du gibier compromettant ainsi leur succès de chasse (Folkesson, 2004 in Corlatti et al., 2009). Depuis, plus d'une centaine d'écoponts ont été construits en Europe (Corlatti et al., 2009). Au Canada, deux écoponts ont été érigés dans le Parc national de Banff en Alberta (Evink, 2002 in Corlatti et al., 2009). La largeur des écoponts peut varier de 30 à 200 mètres aux extrémités (Jackson and Griffin, 2000). Ce type de passage est celui qui permet d'accommoder le plus grand nombre d'espèces parce qu'il a l'avantage de maintenir les conditions naturelles du milieu (Huijser et al., 2007; Jackson and Griffin, 2000). En effet, il conserve les conditions retrouvées suite aux précipitations et il a le même degré de luminosité et de température que le milieu environnant. De plus, il

arrête davantage les bruits liés à la circulation puisqu'il est aménagé avec des buttes ou des murs anti-bruit et donne moins une impression de confinement que la plupart des passages inférieurs dû à l'absence de l'effet de tunnel (van Bohemen, 1998; Jackson and Griffin, 2000; Ostiguy, 2006). En plus de permettre le passage de plusieurs espèces, les écoponts peuvent également servir d'habitat intermédiaire pour les animaux de petites tailles tels les rongeurs (souris, campagnols, etc.), les amphibiens et les reptiles (Jackson and Griffin, 2000). Malgré leur grande efficacité, les écoponts sont peu utilisés comme mesure d'atténuation étant donné leur coût élevé de construction (Huijser et al., 2007; Jackson and Griffin, 2000).



Figure 2.9. Écopont au dessus de l'autoroute transcanadienne dans le parc national de Banff en Alberta. Tirée de Parcs Canada, 2009.

2.2. Fréquentation des passages fauniques par la petite faune

Plusieurs types de passages fauniques variant selon leur dimension et leur forme sont maintenant intégrés aux réseaux routiers. Cependant, leur fréquentation dépend ultimement de l'écologie des espèces présentes dans les habitats à proximité (Hartmann, 2002). En

effet, plusieurs déplacements sont possibles lorsqu'un individu est confronté à la présence d'une route et de passages fauniques (Figure 2.10). Il est donc important de bien connaître l'écologie des espèces afin de favoriser l'emploi des passages.

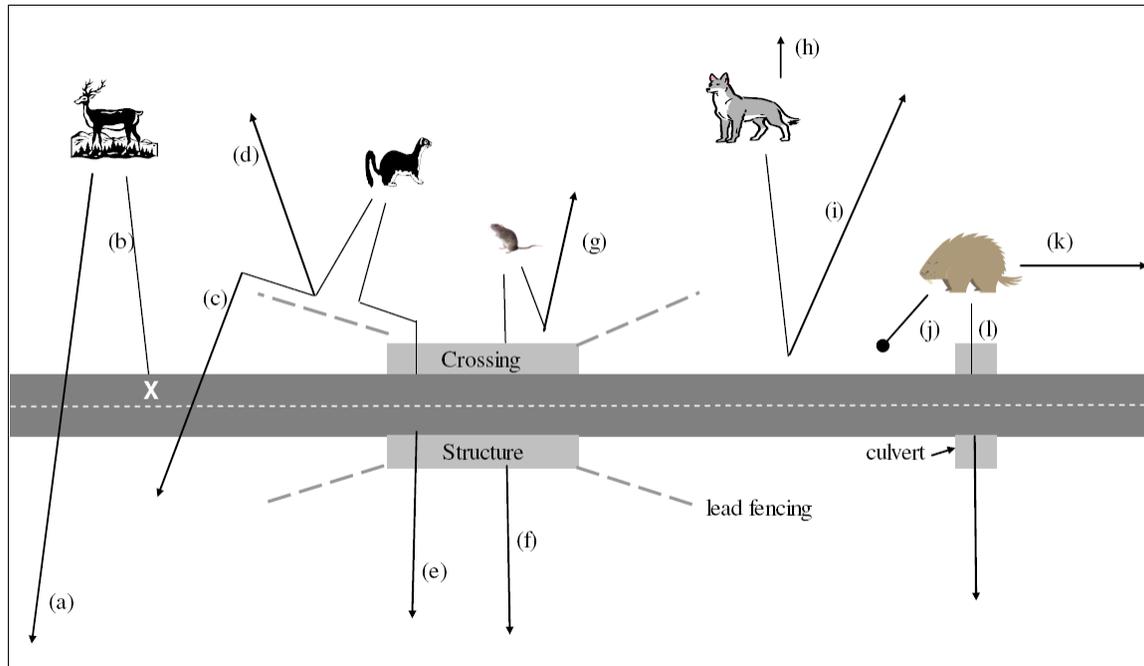


Figure 2.10. Déplacements relatifs de la faune par rapport aux routes et aux passages fauniques (l'illustration représente les déplacements possibles pour toutes les espèces) : a) déplacement effectué avec succès de l'autre côté de la route, b) collision avec un véhicule, c) approche de la clôture, éloignement du passage en suivant et contournant la clôture, d) approche de la clôture et éloignement de la route, e) approche de la clôture et déplacement effectué avec succès à travers le passage, f) déplacement à travers le passage directement, g) approche et évitement du passage, h) évitement complet des routes, i) approche et évitement des routes, j) fréquentation de l'emprise de la route, k) déplacement parallèle à la route, l) déplacement effectué avec succès à travers un ponceau. Modifiée de Bellis, 2008.

Les écoponts et les lits majeurs sont les types de passages utilisés par la plus grande variété d'espèces puisqu'ils permettent de combiner le plus de caractéristiques des habitats (Corlatti et al., 2009). En effet, leur dimension ainsi que la présence de couvert à l'intérieur ou sur la structure entraînent leur utilisation autant par des espèces des milieux ouverts que fermés (Ascensao and Mira, 2007; Corlatti et al., 2009; Grilo et al., 2008; Hartmann, 2002; Mata et al., 2008; Rodriguez et al., 1997; Rodriguez et al., 1996). En Allemagne, les espèces de petite faune recensées sur les écoponts sont le renard roux, la martre des pins

(*Martes martes*), le lièvre d'Europe (*Lepus europaeus*), le hérisson commun (*Erinaceus europaeus*) et l'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*) (Corlatti et al., 2009). Le renard et le lièvre sont les deux espèces qui sont principalement associées à ces deux types de passages puisqu'elles utilisent davantage les habitats ouverts qui offrent une bonne visibilité (Ascensao and Mira, 2007; Clevenger et al., 2001; Mata et al., 2008; Rodriguez et al., 1997).

Les tuyaux secs, les ponceaux de drainage, les tablettes en porte-à-faux et les lits mineurs sont majoritairement utilisés par les espèces de mustélidés (Clevenger et al., 2001; Foresman, 2004; Mata et al., 2005; Rodriguez et al., 1996). Cette propension des mustélidés à fréquenter les ponceaux est attribuée au fait qu'il s'agisse d'espèces associées aux habitats forestiers évitant généralement les milieux ouverts (Clevenger et al., 2001). La martre d'Amérique a tendance à utiliser les ponceaux possédant une grande ouverture dont la hauteur est faible alors que les belettes (*Mustela erminea* et *Mustela frenata*) ont davantage tendance à utiliser des ponceaux caractérisés par une faible ouverture et visibilité dont la hauteur est élevée (Clevenger et al., 2001). Ces résultats peuvent être expliqués par les préférences de ces espèces en matière d'habitat. Les martres préfèrent les habitats où la canopée est dense avec plusieurs sous-étages alors que les belettes qui chassent la plupart du temps au sol n'ont pas besoin d'une grande visibilité (Clevenger et al., 2001).

Le raton laveur est la seule espèce qui semble utiliser tous les types de passages sans démontrer de préférence particulière puisqu'il s'agit d'une espèce généraliste qui peut s'adapter à plusieurs types de milieux (Ng et al., 2004).

En plus de la dimension des passages, qui agit sur leur coefficient d'ouverture, plusieurs caractéristiques influencent la fréquentation des passages par la faune. Tout d'abord, la localisation des passages est très importante. En effet, l'efficacité des passages est grandement liée à leur emplacement dans l'environnement. Ainsi, les passages devraient être situés où les habitats sont de bonne qualité, à des endroits où les densités sont élevées ou à proximité de corridors préférentiels de déplacement (Corlatti et al., 2009; Glista et al.,

2009; Grilo et al., 2008; Roger and Ramp, 2009). De plus, ils ne devraient pas être placés dans des endroits perturbés par la présence humaine puisque cela diminue leur taux de fréquentation par certaines espèces (Glista et al., 2009; Mata et al., 2005).

Ensuite, la présence d'un couvert végétal adjacent et à proximité des passages augmente leur fréquentation par la faune. Ce couvert accroît l'attrait des passages pour certaines espèces puisqu'il procure une approche plus sécuritaire (Clevenger et al., 2001; Glista et al., 2009). De plus, il contribue à camoufler les passages rendant ainsi les individus moins méfiants vis-à-vis les structures (Ascensao and Mira, 2007; Rodriguez et al., 1997). Finalement, certaines caractéristiques des routes, tels la largeur, le volume de la circulation et le niveau de bruit, peuvent affecter la fréquentation des passages. En effet, ces caractéristiques peuvent entraîner un comportement d'évitement de la part des espèces, ce qui diminue les activités effectuées dans cette partie de l'habitat réduisant par le fait même les possibilités qu'un individu fréquente les passages (Clevenger et al., 2001; Glista et al., 2009).

Peu d'études ont comparé la fréquentation des passages entre les milieux plus et moins fragmentés. Cependant, certaines études comportent quelques passages situés dans les deux types de milieux. Il est possible de tirer quelques observations de ces études. Tout d'abord, la composition des espèces dans les deux types de milieux est différente. Les espèces généralistes (le raton laveur ou la mouffette rayée par exemple), dominantes dans les milieux fragmentés, comptent pour le plus grand nombre d'observations des espèces sauvages (Haas, 2000). Ensuite, les passages des milieux fragmentés sont fortement fréquentés par les animaux domestiques tels les chats et les chiens. Plus les passages sont près des centres urbains plus la proportion des animaux domestiques est importante et plus celles des animaux sauvages est faible (Ascensao and Mira, 2007; Rodriguez et al., 1997).

3. FRÉQUENTATION DES PASSAGES FAUNIQUES PAR LA PETITE FAUNE SUR LA ROUTE 175, AU QUÉBEC

3.1. Mise en contexte

Le principal lien entre la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et celle de la Capitale-Nationale est la route 175 (MTQ, 2009). Depuis plusieurs années, cette route est considérée comme un corridor routier à risque élevé d'accidents (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003). En effet, 861 accidents sont survenus entre 1997 et 2001 dont environ 2 % ont été mortels et près de 25 % ont impliqué des blessures graves ou légères (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003). Ces accidents sont principalement dus à des collisions frontales et des collisions avec la grande faune (MTQ, 2009). Face à cette situation, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a procédé à plusieurs études et interventions pour améliorer la sécurité de cet axe routier (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003). En 2002, les gouvernements du Québec et du Canada se sont engagés dans le projet d'amélioration de la route 175 en une route à 4 voies séparées entre l'autoroute 73 et la ville de Saguenay, soit sur une distance de 167 km (km 60 à 227) (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003; MTQ, 2009). Les objectifs de cette réfection de la route 175 sont de favoriser les déplacements sécuritaires en réduisant les risques d'accidents frontaux et les accidents avec la grande faune, assurer la fluidité du trafic, faire face à l'augmentation prévue de la circulation et contribuer à l'essor économique de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (MTQ, 2009).

La protection de l'environnement présente un défi majeur pour ce projet routier puisque la majorité du tracé est située dans la réserve faunique des Laurentides (km 84,12 au km 217,29) et une certaine portion côtoie le Parc national de la Jacques-Cartier (environ du km 75 au km 126). De plus, le Parc national des Grands-Jardins et deux réserves écologiques sont présents à proximité de la route (Figure 3.1) (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003). Ainsi, la qualité de l'eau des lacs et des rivières, la protection de la petite et de la

L'élargissement de la route risque d'accroître l'ampleur de ses impacts sur la fragmentation de l'habitat et les déplacements de la faune terrestre. Pour limiter les effets de cet élargissement du corridor routier, plusieurs passages fauniques seront aménagés lors de la construction de la 2^e chaussée. Des clôtures seront jumelées à ces derniers afin de réduire les intrusions de la faune sur la route et augmenter leur efficacité. Les types de passages aménagés pour la faune terrestre le long de la route 175 sont : les tuyaux secs, les tablettes en porte-à-faux, les ponceaux à deux ou plusieurs niveaux, les lits mineurs et les lits majeurs.

Depuis l'été 2008, un suivi sur la fréquentation des passages fauniques par la petite faune a été mis en place sur les structures terminées. À l'été 2009, la méthode de suivi a été raffinée et davantage de structures ont pu être inventoriées puisqu'un plus grand nombre d'entre elles étaient achevées. L'objectif principal du suivi, réalisé en 2009, était de déterminer la fréquentation par la petite faune des différentes structures aménagées sur certains tronçons de la route 175. Puis, advenant la fréquentation des structures, les espèces (ou taxons) devaient être identifiées. Ces données préliminaires serviront à déterminer quels types de passages sont davantage fréquentés par la faune et les préférences qui semblent exister selon les espèces. Les aménagements réalisés autour de l'entrée des passages ont été caractérisés afin d'évaluer s'ils ont pu avoir une influence sur la fréquentation.

3.2. La zone d'étude

Les passages suivis à l'été 2009 sont tous situés sur le territoire de la Capitale-Nationale entre les kilomètres 84 et 134. Cette section de la route 175 est entièrement localisée dans la réserve faunique des Laurentides et longe le Parc national de la Jacques-Cartier. Le climat de la réserve faunique des Laurentides est considéré comme étant un climat humide continental de montagne et il est dominé par des vents en provenance du nord-ouest (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003). Les précipitations y sont nombreuses. Les précipitations de pluie les plus importantes surviennent au mois d'août et celles de neige

s'échelonnent normalement de septembre à avril, mais peuvent perdurer jusqu'en juin certaines années (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003).

La zone à l'étude est située à l'intérieur de la région géologique du Bouclier canadien. Le relief y est montagneux avec de fortes pentes créant ainsi des vallées profondes où est située la route 175. La région est caractérisée par la présence de plusieurs lacs et cours d'eau dont les deux plus importants sont les rivières Jacques-Cartier et Montmorency qui drainent respectivement des superficies de 2500 et 1100 km² (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003).

La réserve faunique des Laurentides appartient au sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Est qui est caractérisé par des peuplements mélangés ou résineux dominés par le sapin baumier. La principale perturbation, à l'intérieur de la zone d'étude, est la coupe forestière (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003). Les milieux humides sont peu abondants, de petites superficies et peu diversifiés. Les tourbières ombrotrophes uniformes et les marécages arbustifs riverains à aulnes sont les deux types de milieux humides les plus fréquents (Consortium GENIVAR-TECSULT, 2003).

Tous les passages suivis sont localisés dans des tronçons où les réfections sont terminées. Ainsi, chacun de ces tronçons comporte maintenant quatre voies séparées par un terre-plein central et des clôtures pour la petite faune s'étendent de chaque côté des passages sur une distance d'environ 100 m. Différents aménagements ont été réalisés à proximité de l'entrée des passages tels la plantation de végétation et l'installation d'andains de débris ligneux.

3.3. Matériels et méthodes utilisés pour récolter et analyser les données

3.3.1. Récolte des données

Pour le début du suivi en 2009, seulement trois types de passages étaient complétés soit les tuyaux secs, les tablettes en bois en porte-à-faux, les lits mineurs et les lits majeurs. Neuf

structures ont été inventoriées au courant de l'année : trois tuyaux secs, deux tablettes en bois en porte-à-faux, deux lits mineurs et deux lits majeurs. Tous les tuyaux secs sont des tuyaux en béton armé de 600 mm de diamètre (TBA 600). Dans les années subséquentes, les structures seront intégrées au protocole au fur et à mesure où leur construction sera achevée. Le suivi a été effectué du 24 juin 2009 au 22 octobre 2009 en ce qui a trait aux tuyaux secs et aux tablettes en bois en porte-à-faux et du 24 juin 2009 au 10 novembre 2009 pour les lits mineurs et majeurs. Les sites étaient visités toutes les deux semaines pour récupérer les données.

Pour les TBA 600 et les tablettes en bois, des tampons encreurs ont été utilisés pour relever les empreintes des espèces. Ces derniers ont été déposés à chacune des extrémités des structures. Les dispositifs ont été installés à environ un mètre de l'entrée pour assurer leur protection contre les intempéries. Le tampon encreur consiste en un tissu éponge imbibé d'encre, de feuilles de papier et d'une feuille de contre-plaqué. Les feuilles de contre-plaqué mesurent 1200 mm de long par 400 mm de large pour les TBA 600 et 1200 mm de long et 500 mm de large pour les tablettes en bois. L'encre est faite à partir d'huile minérale lourde et de poudre de craie. Au début du suivi, de la poudre de craie rouge était utilisée aux deux extrémités des passages. Après trois périodes, la couleur du dispositif de la chaussée Est a été changée pour le bleu. Ce changement a été fait en espérant que l'encre reste suffisamment longtemps sous les pattes pour être discernable sur les feuilles de la chaussée opposée facilitant ainsi l'évaluation du type de déplacements effectués.

Le tissu imbibé d'encre est déposé sur du contre-plaqué et il est précédé et suivi d'une feuille de papier (Figure 3.2). Ces feuilles ont été déposées sur le contre-plaqué pour éviter qu'elles n'entrent en contact avec l'eau. Sur chacune des feuilles, les informations suivantes ont été inscrites afin de ne pas mélanger les données : la date où la feuille a été installée, l'endroit où la feuille est installée (le km), l'extrémité du tampon à laquelle la feuille est installée (est ou ouest, ce qui fait référence à la feuille qui est face à la sortie ou à l'intérieur de la structure) et la chaussée sous laquelle la feuille est installée (est ou ouest).



Figure 3.2. Exemple d'un système de tampon-encreur. Photo : Maryse Boucher

De plus, des appâts (viande de castor et sardines) et des leurres olfactifs, faits à partir de tondreux de castor, ont été utilisés afin d'inciter la faune à fréquenter les passages. Les appâts étaient placés à l'intérieur des structures à environ deux mètres à l'avant des tampons et les leurres olfactifs étaient installés à l'entrée des structures.

En ce qui a trait aux lits mineurs et majeurs, des caméras infrarouges ont été installées le long de la rive et orientées sur des trappes de sable préalablement installées sous les ponts pour effectuer le suivi de la grande faune (Figure 3.3). Afin d'inciter les espèces à passer à l'avant des caméras, des appâts (viande de castors et sardines) et des leurres olfactifs ont été placés. Les morceaux de castor étaient enterrés dans le sable dans le champ de vision de la caméra et les sardines et le leurre olfactif étaient placés à proximité sur le sable. Les caméras utilisées sont des RapidFire RC60 de Reconyx. Les caméras étaient réglées pour prendre trois photos consécutives (2 à 5 secondes de délai entre chaque photo) avec un délai d'environ une minute entre chaque série de trois photos.

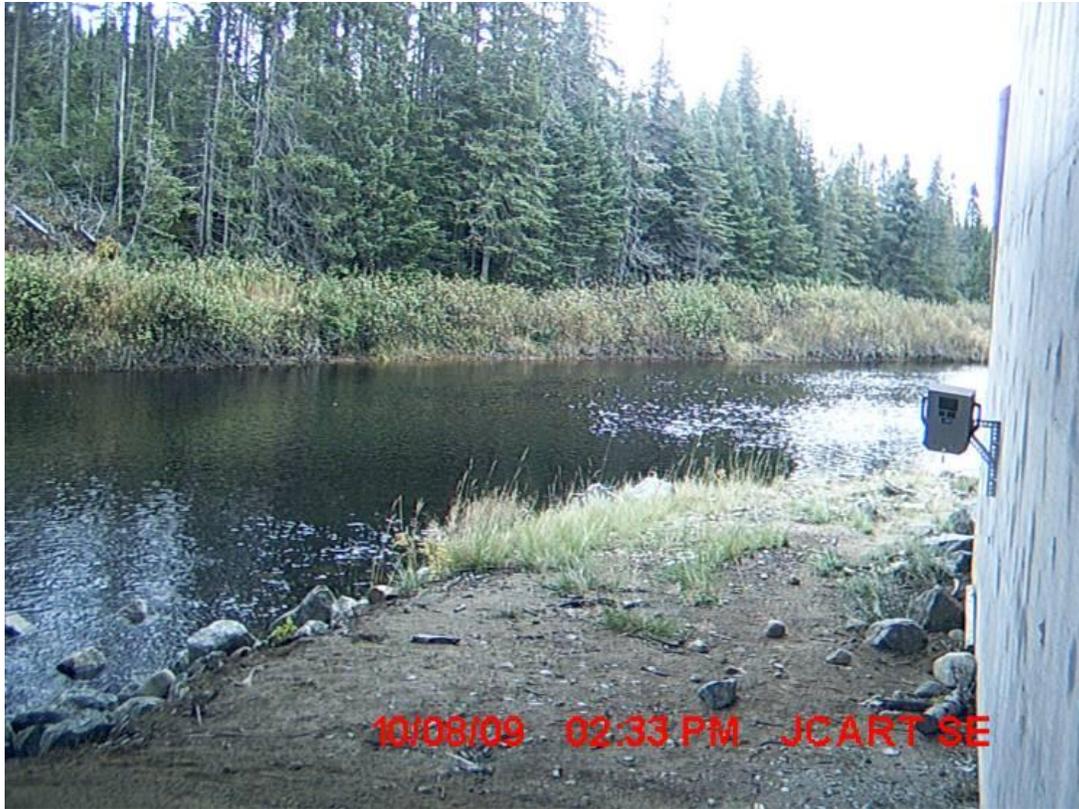


Figure 3.3. Exemple de la position des caméras dans un lit majeur. Photo : MTQ, photo non publiée.

Plusieurs facteurs sont susceptibles d’influencer la fréquentation des passages par la faune tels la longueur du passage, son diamètre, la distance du passage par rapport à la forêt, la distance par rapport à un point d’eau, la distance par rapport à un chantier, le couvert présent dans un rayon de 30 mètres autour du passage (herbacée, arbustive, arborescente), le pourcentage de couverture que chacune des strates occupe autour du passage, le pourcentage de couverture présente pour la petite faune aux rives aménagées et la présence d’activités humaines à proximité. Tous ces facteurs ont été évalués lors de l’installation des dispositifs. Le tableau 3.1 présente ces informations ainsi que les informations concernant les structures où sont installés les dispositifs. Il est à noter que pour les lits majeurs et mineurs les dispositifs de suivi n’ont été installés que sous une seule des deux chaussées. Par conséquent, les renseignements ne concernent que la structure présente sous la chaussée indiquée et non l’ensemble du passage.

Tableau 3.1. Localisation et caractéristiques des passages fauniques achevés de la route 175.

Date	Emplacement	Structure	Dispositif	Longueur du passage (m)	Diamètre (m)	Hauteur (m)	Largeur (m)	Chaussée	Distance par rapport à la forêt (m)	Distance par rapport à un l'eau (m)	Couvert végétal entre la forêt et le passage	Espèces végétales dominantes	Présence d'activité humaine
2009-06-24	km 133+030, lac Chominich	TBA 600	Tampon-encreur	38	0,6	N.a.	N.a.	Est	10	3	Herbacée, Aulnais à 5 m du passage	Pessière noire, aulne rugueux	Non
								Ouest	4	1,5	Herbacée	Pessière noire	Non
2009-06-24	km 131+230, décharge du lac Horatio-Walker	Lit mineur	Caméra	12,62	N.a.	4	1,5	Ouest	12	3	Arbustif, plantation d'aulne rugueux	Pessière noire	Non
2009-06-24	Km 128+270, rivière Jacques-Cartier	Lit majeur	Caméra	12,62	N.a.	5	3	Est	15	4	Herbacée	Sapin	Chalet de villégiature à proximité de la chaussée ouest
2009-06-24	Km 125+000, ruisseau des Brûlés nord	TBA 600	Tampon-encreur	38	0,6	N.a.	N.a.	Est	12	2	Herbacée, plantation aulnes rugueux sur la rive ouest du ruisseau	Pessière noire, aulne rugueux	Non
								Ouest	8	1,5	Herbacée, plantation aulnes rugueux	Pessière noire, aulne rugueux	Non
2009-06-24	Km 124+900, ruisseau des Brûlés sud	TBA 600	Tampon-encreur	38	0,6	N.a.	N.a.	Est	25	1,5	Herbacée	Pessière noire	Non
								Ouest	12	2,5	Herbacée avec quelques aulnes rugueux	Pessière noire	Non
2009-06-24	Km 94+300, décharge du lac à Noël, côté sud	Lit majeur	Caméra	12,62	N.a.	10	25	Est	20	2	Herbacée	Pessière noire	Utilisation du passage en hiver pour des randonnées de ski de fond
2009-06-24	Km 89+460, rivière Cachée	Tablette en bois en porte-à-faux	Tampon-encreur	25,24	N.a.	0,7	0,5	Est	50	3,5	Herbacée	Pessière noire	Non
								Ouest	3	3,5	Herbacée/arbustif	Aulnes rugueux, pessière noire	Non
2009-06-24	Km 88+900, ruisseau sans nom	Tablette en bois en porte-à-faux	Tampon-encreur	12,62	N.a.	0,7	0,5	Est, côté est	50	2	Herbacée	Sapin	Non
								Est, côté ouest	> 100	3	Herbacée	Herbacée	Non
2009-06-24	Km 86+700, ruisseau Bureau	Lit mineur	Caméra	12,62	N.a.	2,7	1	Est	10	1,5	Herbacée	Sapin	Non
N.a. : Non applicable													

Afin de déterminer si les animaux ont suivi la clôture à petite faune avant d'arriver au passage, une vérification visuelle a été effectuée le long de la clôture sur une distance d'environ quarante mètres, et ce, de chaque côté des passages. De plus, cela a permis de déceler la présence d'indices ou de signes de creusage par des animaux ayant cherché à traverser sous la clôture.

3.3.2. Analyse des données

Pour faciliter la présentation des données, l'inventaire a été séparé en neuf périodes. Ces neuf périodes correspondent aux intervalles auxquels les données ont été récoltées. Ainsi, l'intervalle de deux semaines entre chacune des récoltes équivaut à une période. Le tableau 3.2 présente les dates associées à chacune des périodes.

Tableau 3.2. Dates correspondant aux périodes du suivi.

Période	Dates
1	24 juin au 8 juillet 2009
2	8 juillet au 23 juillet 2009
3	23 juillet au 13 août 2009
4	13 août au 26 août 2009
5	26 août au 10 septembre 2009
6	10 septembre au 21 septembre 2009
7	21 septembre au 8 octobre 2009
8	7 octobre au 22 octobre 2009
9	22 octobre au 10 novembre 2009

Lorsque les feuilles des tampons étaient récupérées, les traces présentes sur ces dernières étaient identifiées à l'espèce, sauf en ce qui a trait aux micromammifères où ce terme était utilisé pour désigner les empreintes laissées par les espèces incluses dans cette appellation soit *Sorex sp.*, *Microtus sp.*, *Peromyscus sp.*, *Clethrionomys sp.*, etc. La différenciation entre les traces d'écureuil roux, de grand polatouche et de tamia rayé est également très difficile. Cependant, des traces appartenant à ces rongeurs n'ont été vues qu'une seule fois.

La piste observée a été considérée comme étant celle d'un écureuil roux puisque les probabilités que cette espèce fréquente les passages sont plus élevées que pour les deux autres espèces. De plus, cette espèce a déjà été recensée dans ce type de structure (Clevenger and Waltho, 1999). La direction (est vers ouest ou ouest vers est) des pistes était également notée. Ensuite, les feuilles des extrémités des passages étaient comparées pour déterminer si les espèces avaient traversé d'une extrémité à l'autre ou si elles étaient seulement entrées pour sentir ou récupérer l'appât puis ressorties par la même extrémité. Lorsque les traces d'une même espèce se retrouvaient aux deux extrémités et qu'elles se dirigeaient dans la même direction, cela était comptabilisé comme une traversée (Bellis, 2008). Lorsque les traces ne se trouvaient que d'un seul côté, mais sur les deux feuilles du tampon et dans des directions opposées alors ce type de déplacement représentait un aller-retour. La présence d'une seule trace était comptée comme un usage indéterminé puisqu'il était impossible de déterminer le type de déplacement effectué à l'intérieur du passage. Lorsque plusieurs traces de la même espèce étaient présentes, le nombre de passages était calculé selon le nombre d'empreintes présentes correspondant à des passages distincts. De plus, la distance entre les empreintes était prise en compte pour ne

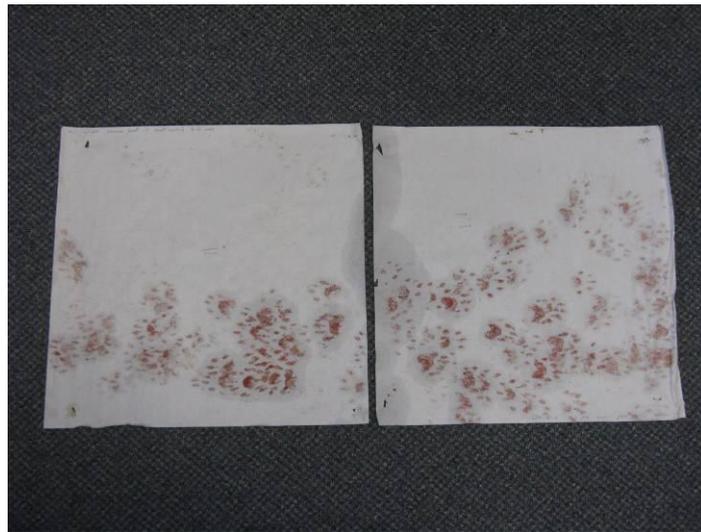


Figure 3.4. Exemple de résultat, au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Nord, où les empreintes sont trop nombreuses et rapprochées pour déterminer le nombre de fréquentations. Photo : Maryse Boucher

pas comptabiliser des pas faits lors d'une seule fréquentation comme deux passages différents. Parfois, les empreintes d'une même espèce étaient trop nombreuses et trop superposées pour permettre de compter le nombre de fréquentation (Figure 3.4). Dans ces cas, le nombre de fréquentations considérées était de deux puisque dans chacun des cas au moins deux fréquentations ont eu lieu.

La comptabilisation de la fréquentation des lits mineurs et majeurs s'est faite grâce aux photos prises par les caméras. Les individus présents sur les photos étaient identifiés à l'espèce et la direction (est vers ouest, ouest vers est, ouest vers ouest ou est vers est) de leur déplacement était notée afin de déterminer si les individus traversaient le passage ou ne faisaient que des allers-retours pour sentir ou prendre les appâts. Lorsqu'un individu apparaissait sur plusieurs séries de photos consécutives, cette présence n'était comptée que comme une seule fréquentation peu importe le temps écoulé entre le premier et le dernier cliché. Quelquefois, les individus passaient devant la caméra plusieurs à plusieurs reprises, de façon consécutive et revenaient devant le champ de la caméra. Lorsque de tels évènements se produisaient, à chaque fois que les individus sortaient puis revenaient devant la caméra, cela était compté comme une nouvelle fréquentation puisqu'il était impossible de dire si les individus quittaient ou non les passages. L'hypothèse retenue était que les individus quittaient les passages pour y accéder de nouveau quelques instants plus tard. Lorsqu'il était impossible de déterminer la direction prise par les individus, la fréquentation du passage était alors considérée comme indéterminée.

Les données ont été compilées et les graphiques créés à partir du logiciel Excel 2007. Dans les graphiques, l'axe des X représente toujours les espèces et l'axe des Y le nombre d'occurrences, c'est-à-dire le nombre de fois où une espèce a fréquenté un (ou un type de) passage.

3.4. Présentation des résultats

Au total, dix-neuf espèces de mammifères ont fréquenté les passages présents sous la route 175 à l'été 2009 (Tableau 3.3). De ces dix-neuf espèces, treize d'entre elles sont des espèces de la petite faune. Les lits mineurs sont le type de passage qui a été fréquenté par le plus grand nombre d'espèces. Treize espèces ont été inventoriées dans ces passages, alors qu'il y en a eu onze dans les TBA 600, huit dans les lits majeurs et cinq sur les tablettes en bois (Figure 3.5).

Tableau 3.3. Espèces recensées lors du suivi de l'été 2009.

Abréviation	Nom latin	Nom commun
Alal	<i>Alces alces</i>	Orignal
Arhe	<i>Ardea herodias</i>	Grand héron
Caca	<i>Castor canadensis</i>	Castor d'Amérique
Cobr	<i>Corvus brachyrhynchos</i>	Corneille d'Amérique
Erdo	<i>Erethizon dorsatum</i>	Porc-épic d'Amérique
Leam	<i>Lepus americanus</i>	Lièvre d'Amérique
Luca	<i>Lutra canadensis</i>	Loutre de rivière
Maam	<i>Martes americana</i>	Martre d'Amérique
Mamo	<i>Marmota monax</i>	Marmotte commune
Meme	<i>Mephitis mephitis</i>	Mouffette rayée
Micro-mamm	-	Micro-mammifères
Muer	<i>Mustela erminea</i>	Hermine
Muvi	<i>Mustela vison</i>	Vison d'Amérique
Odvi	<i>Odocoileus virginianus</i>	Cerf de Virginie
Onzi	<i>Ondatra zibethicus</i>	Rat-musqué
Prlo	<i>Procyon lotor</i>	Raton laveur
Tahu	<i>Tamiasciurus hudsonicus</i>	Écureuil roux
Uram	<i>Ursus americanus</i>	Ours noir
Vuvu	<i>Vulpes vulpes</i>	Renard roux

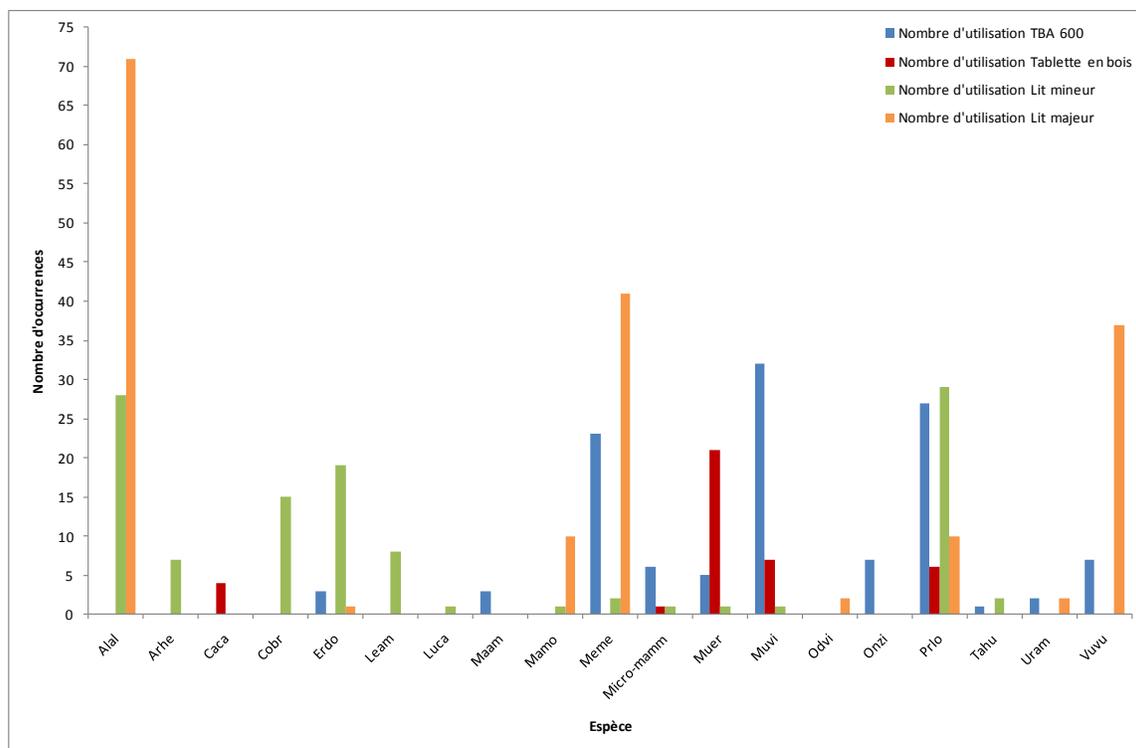


Figure 3.5. Fréquentation des trois types de passage par les différentes espèces.

Les principales espèces de petite faune à avoir fréquenté les passages sont en ordre décroissant : le raton laveur, la mouffette rayée, le renard roux, le vison d'Amérique, l'hermine et le porc-épic d'Amérique (Tableau 3.4). Le raton laveur a été recensé dans tous les types de passages et sa présence a été constatée dans huit des neuf passages présents, le TBA 600 du ruisseau des Brûlés Nord étant le seul passage où aucune trace n'a été trouvée. La mouffette rayée et le vison d'Amérique ont fréquenté six des neuf passages. Contrairement au raton laveur, ces espèces ont été détectées principalement sur un type de passage en particulier. En effet, la mouffette rayée a surtout été inventoriée dans les lits majeurs alors que toutes les pistes, à l'exception d'une seule, du vison d'Amérique ont été inventoriées dans les TBA 600 et les tablettes en bois. Tout comme ces deux dernières espèces, le renard roux, le porc-épic d'Amérique et l'hermine ont été observés davantage à certains types de passages. Le renard roux et le porc-épic d'Amérique ayant principalement fréquenté respectivement les lits majeurs et les lits mineurs alors que les signes de fréquentation de l'hermine ont surtout été trouvés dans les TBA 600 et les tablettes en bois (Figure 3.6).

Tableau 3.4. Nombre de fréquentation des passages selon les espèces.

Passage	Nombre de fréquentations																			Total pour toutes les espèces	Total pour les espèces de la petite faune
	Alal	Arhe	Caca	Cobr	Erdo	Leam	Luca	Maam	Mamo	Memo	ro-ma	Muer	Muvi	Odvi	Onzi	Prio	Tahu	Uram	Vuvu		
Chominich	0	0	0	0	0	0	0	3	0	13	4	4	8	0	3	22	0	0	0	57	57
Brûlés Nord	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	1	0	6	0	0	0	1	1	5	20	19
Brûlés Sud	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	1	1	17	0	4	5	0	1	2	38	37
Cachée	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	8	8
Sans nom	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21	6	0	0	4	0	0	0	32	32
Horatio	0	7	0	15	0	5	1	0	1	2	1	1	1	0	0	13	0	0	0	47	25
J-C	0	0	0	0	1	0	0	0	10	38	0	0	0	0	0	4	0	1	1	55	54
Noël	71	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	6	0	1	36	119	47
Bureau	28	0	0	0	19	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	2	0	0	68	40
Total	99	7	4	15	23	8	1	3	11	66	8	27	40	2	7	72	3	4	44	444	319

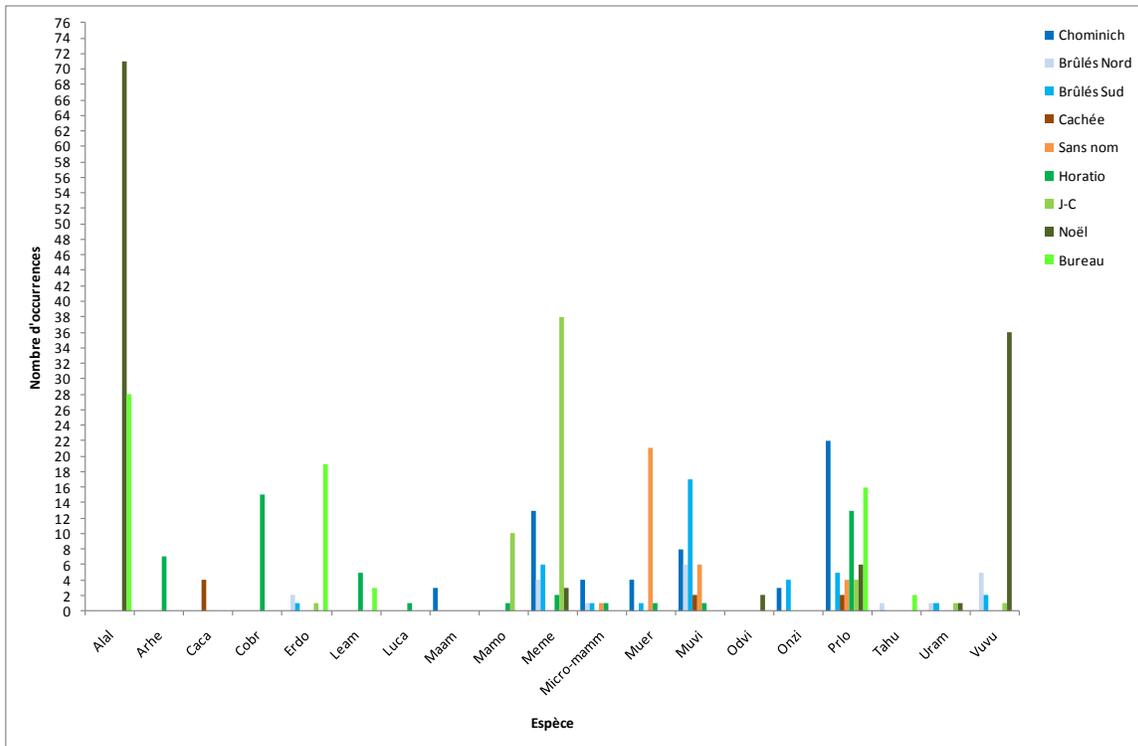


Figure 3.6. Nombre de fréquentations des neuf passages par les différentes espèces tout au long du suivi.

La fréquentation des passages par les différentes espèces a varié au cours de la période de suivi, certaines usant des passages davantage en début de la saison alors que d'autres principalement vers la fin (Figure 3.7). Le raton laveur est la seule espèce dont l'occurrence soit restée relativement constante du début à la fin, bien qu'il soit possible de constater une augmentation dans les deux dernières périodes. La fréquentation des passages par le porc-épic d'Amérique fut relativement constante dans la première moitié du suivi, mais a diminué de manière importante à partir de la sixième période. Inversement, la mouffette rayée n'a pas emprunté les passages durant les quatre premières périodes du suivi. En effet, tous ces déplacements ont principalement eu lieu à partir de la sixième période. Le renard roux semble avoir principalement fréquenté les passages selon deux phases distinctes soit durant les deux premières périodes et durant les trois dernières. Le vison d'Amérique et l'hermine ont fréquenté les passages à toutes les périodes du suivi, toutefois la fréquentation par le vison d'Amérique est plus importante au milieu de la durée du suivi.

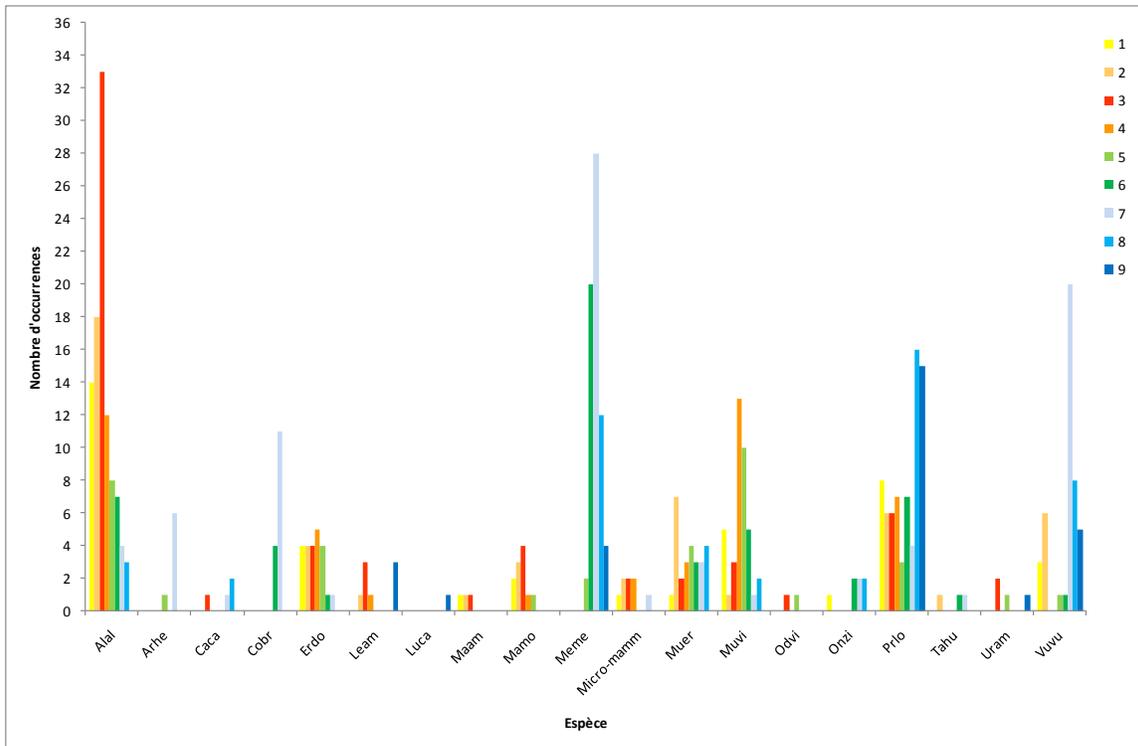


Figure 3.7. Nombre de fréquentations des passages pour chacune des espèces selon les différentes périodes du suivi.

Les deux passages les plus fréquentés par la petite faune au cours de l’été ont été le TBA 600 du lac Chominich et le lit majeur de la rivière Jacques-Cartier avec respectivement 57 et 54 fréquentations. Par la suite, vient en ordre décroissant, le lit majeur de la décharge du lac à Noël, le lit mineur du ruisseau Bureau, le TBA 600 du ruisseau des Brûlés Sud, la tablette en bois du ruisseau sans nom, le lit mineur de la décharge du lac Horatio-Walker, le TBA 600 du ruisseau des Brûlés Nord et la tablette en bois de la rivière Cachée (Tableau 3.4). Le lit mineur de la décharge du lac Horatio-Walker et le TBA 600 de la rivière des Brûlés Sud sont les deux passages où le plus grand nombre d’espèces différentes a été observé avec chacun huit espèces. Alors que, le lit majeur de la décharge du lac à Noël et la tablette en bois de la rivière Cachée sont ceux où il y en a eu le moins avec trois espèces. Pour les autres passages, le nombre d’espèces présent a varié entre quatre et sept (Tableau 3.4).

En général, les espèces fréquentant les passages lors de leurs déplacements ont réalisé une traversée complète de la structure (Figure 3.8). Le raton laveur et l'hermine sont les deux espèces qui ont fait le plus d'aller-retour dans les structures, c'est-à-dire qu'elles ne les ont pas traversé et ne sont restées que d'un côté. La mouffette, le raton laveur et le renard roux sont les espèces pour lesquelles le plus grand nombre de déplacements ont été impossibles à identifier. La majorité de ces derniers proviennent des passages suivis à l'aide de caméras. En effet, il était souvent impossible de déterminer si ces espèces traversaient la structure ou si elles faisaient des allers-retours puisque la direction par laquelle ces espèces arrivaient ou quittaient la structure était inconnue.

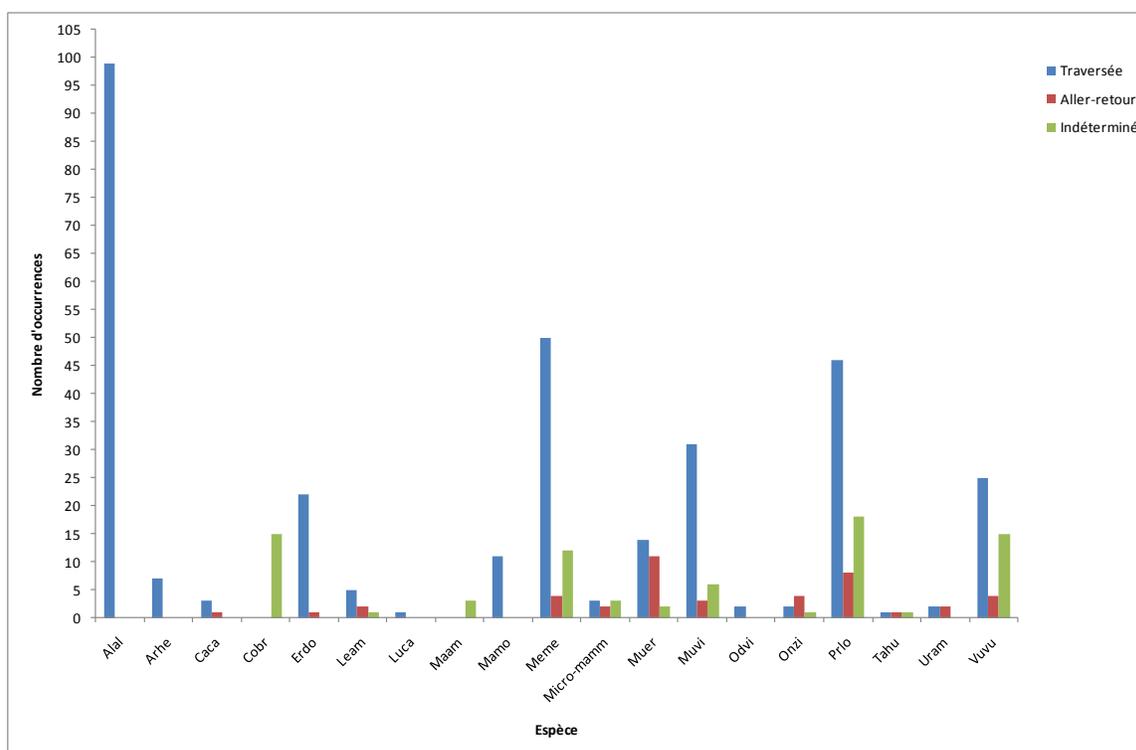


Figure 3.8. Type de déplacements effectués (traversée, aller-retour ou indéterminé) dans les passages par les espèces.

Tout au long du suivi seulement une seule trace de creusage a été observée le long des clôtures et aucune piste n'a été vue longeant ces dernières.

3.5. Analyse et interprétation des résultats

Dans cette étude les lits mineurs et majeurs sont très semblables. En effet, les principales différences étant la largeur du sentier et la surface du sentier recouverte par les eaux lors des crues. Lors de ces dernières, les lits mineurs sont généralement inondés alors que les lits majeurs ne sont généralement pas affectés. Ainsi, la fréquentation par un plus grand nombre d'espèces des lits mineurs et majeurs concorde avec ce qui est observé dans la littérature (Glista et al., 2009). En effet, la dimension de ces derniers étant plus importante et l'aménagement présent à l'intérieur des structures étant plus diversifié, ils permettent d'accueillir un plus grand nombre d'espèces de tailles et de comportements variables (Donaldson, 2005; Grilo et al., 2008; Mata et al., 2008; Mata et al., 2005; Ng et al., 2004; Rodriguez et al., 1997).

La prépondérance du raton laveur lors du suivi concorde avec plusieurs autres suivis où cette espèce est présente puisqu'il est toujours parmi les espèces les plus dominantes (Donaldson, 2005; Foresman, 2004; Foster and Humphrey, 1995; Haas, 2000; Land and Lotz, 1996; Ng et al., 2004). Cette dominance serait la conséquence du comportement très généraliste et opportuniste des ratons laveurs, ce qui fait en sorte qu'ils peuvent occuper plusieurs types d'habitats (Faune et flore du pays, 2010). En outre, contrairement à d'autres espèces, les ratons laveurs fréquentent les passages comme site d'alimentation et non seulement lors de leurs déplacements (Ng et al., 2004). Cette situation a été constatée dans le cadre de ce suivi puisque plusieurs fois des individus ont été observés en train de prendre les appâts pour les consommer sur place contrairement aux autres espèces (Figure 3.9).



Figure 3.9. Exemple d'un raton laveur consommant les appâts directement dans le passage du lit mineur de la décharge du lac Horatio-Walker. Photo : MTQ, photo non publiée.

La fréquentation préférentielle des lits majeurs par la mouffette rayée est principalement due à la présence répétée d'individus au cours d'une même nuit au passage de la rivière Jacques-Cartier durant la septième période. De plus, cette observation est quelque peu biaisée par la méthode de suivi et la méthode d'analyse des données. En effet, il était plus facile de dénombrer le nombre de fréquentation des lits majeurs que des TBA 600 en raison de la méthode utilisée soient les caméras pour les premiers et les tampons-encreurs pour les seconds. Lors de l'analyse des données, à chaque fois qu'un individu apparaissait sur une nouvelle série de photos, entrecoupées de clichés vides ou d'un intervalle de temps, cela était compté comme une nouvelle fréquentation, comme ce fut le cas à la rivière Jacques Cartier. Alors que, dans le cas des tampons-encreurs, lorsqu'il était impossible de dénombrer le nombre de traces d'une même espèce en raison de leur abondance, il n'y avait que deux fréquentations de comptabilisées pour cette période, ce fut le cas notamment au ruisseau des Brûlés Sud et au lac Chominich (Figure 3.10). Ainsi, le nombre de fréquentations est surévalué pour les lits majeurs et sous-évalué pour les TBA 600 puisqu'un même individu aux lits majeurs peut faire augmenter le nombre de fréquentation alors qu'en cas de surabondance des pistes dans les TBA 600 et les tablettes en bois le nombre maximal de fréquentation est de deux. Cependant, il est difficile de dire si la mouffette rayée présente une préférence pour un type de passage en particulier puisque les densités aux différents passages ne sont pas connues et les passages étant éloignés il est

difficile de les comparer étant donné les variations dans l'environnement adjacent. Néanmoins, il semble que cette espèce s'accommode aussi bien des lits majeurs que des TBA 600 étant donné son comportement vis-à-vis des structures. En effet, dans les deux types de passage les individus semblent effectuer plusieurs allers-retours à l'intérieur des structures comme en témoigne le grand nombre de clichés pris d'un même individu au cours de mêmes nuits et la grande quantité de traces laissées sur les tampons.

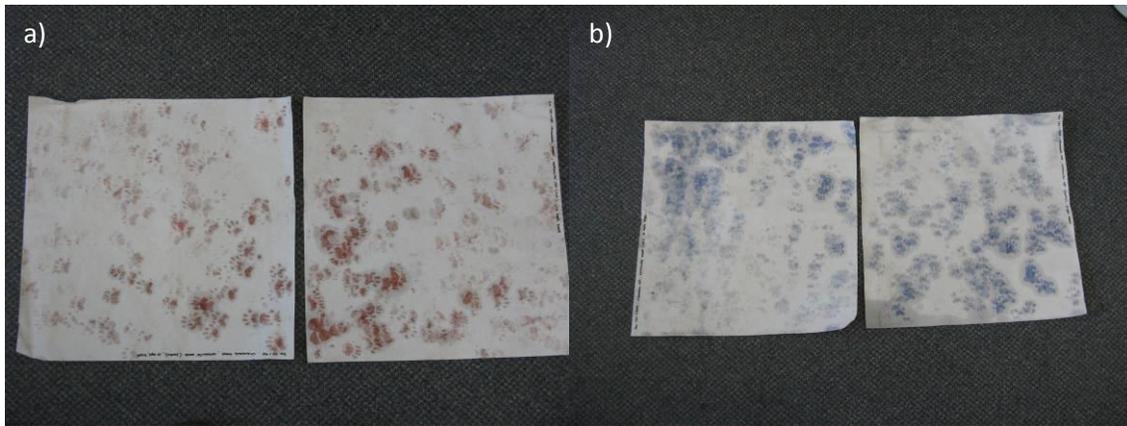


Figure 3.10. Nombre important de traces de mouffettes rayées au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Sud a) à la chaussée ouest et b) à la chaussée est. Photos : Maryse Boucher

Aucune étude n'a été trouvée sur la fréquentation des passages fauniques par le vison d'Amérique. Cependant, des études parues en France sur le vison d'Europe laissent supposer que les ouvrages permettant la continuité des berges sont à privilégier puisque ces derniers fréquentent majoritairement les berges des cours d'eau lors de leurs déplacements (Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2006). Ce comportement est également observé chez le vison d'Amérique (CEAEQ, 2006). Pourtant, lors du suivi, une seule observation a été faite dans les passages avec des berges naturelles. Cette absence pourrait être due à la faible abondance de cette espèce à proximité des lits mineurs et majeurs, au manque de couvert à l'intérieur des lits majeurs ou à l'orientation des caméras qui ne permettaient pas de couvrir toute la largeur des lits mineurs et majeurs étant principalement orientées vers le centre des passages ce qui ne permettait pas de voir le bord du cours d'eau. Par contre, les TBA 600 et les tablettes en bois sont très près des cours d'eau à côté desquels ils sont installés ce qui permet une certaine continuité dans avec la

berge justifiant peut-être ainsi la forte fréquentation de ces passages par cette espèce. De plus, la fréquentation répétée de certains passages par cette espèce pourrait signifier une certaine adaptation des individus à la présence des passages et l'inclusion de ces derniers à l'intérieur de leur domaine vital (Mata et al., 2005). La préférence des hermines pour les TBA 600 et les tablettes en bois corrobore avec les observations faites lors de plusieurs études (Clevenger et al., 2001; Clevenger and Waltho, 1999; Grilo et al., 2008; Mata et al., 2005). En effet, toutes ces études ont démontré que l'hermine fréquente majoritairement les passages de faibles dimensions, et ce, pour des raisons comportementales. En effet, l'hermine chasse sous terre, à l'intérieur des terriers de ces proies, dont la majorité sont des micromammifères (*Microtus sp.*, *Peromyscus sp.*, etc.) (CEAEQ, 2006; Clevenger et al., 2001). Ainsi, l'hermine préfère fréquenter des passages dont l'ouverture est faible et la visibilité est réduite (Clevenger et al., 2001).

Plusieurs études ont démontré que le renard roux fréquente principalement les passages dont l'ouverture est grande comme cela est le cas pour les lits majeurs d'où la fréquentation préférentielle par cette espèce (Ascensao and Mira, 2007; Haas, 2000; Mata et al., 2008; Mata et al., 2005). En effet, les renards roux utilisent généralement les terrains semi-découverts comme habitat (CEAEQ, 2006). Cependant, des pistes ont été observées à l'intérieur des TBA 600 de la rivière des Brûlés. Cette fréquentation est survenue dans la période de dispersion des juvéniles ce qui pourrait expliquer cette observation inhabituelle (CEAEQ, 2006; Grilo et al., 2009; Rodriguez et al., 1997). De plus, la présence des appâts a pu contribuer à attirer le ou les individu (s) à travers ce type de structure.

La fréquentation plus importante des lits mineurs par le porc-épic d'Amérique est due à l'usage répété du passage situé au ruisseau Bureau (Annexe 1). En effet, la majorité des déplacements ont été enregistrés à cet endroit. Ce passage était fréquenté de manière constante par au moins deux individus, ce qui suppose que le passage faisait partie de leur territoire expliquant ainsi son usage fréquent. L'absence ou la faible fréquentation des autres passages ne semble pas être due à l'absence de cette espèce dans le reste de la zone d'étude puisque plusieurs mortalités ont été observées le long de la route tout au long du

suivi. En outre, la distance plus importante des autres structures par rapport au couvert forestier pourrait expliquer la faible fréquentation de ces derniers par cette espèce caractéristique des peuplements mûrs (Faune et flore du pays, 2010). Ces passages étant ainsi plus éloignés de son habitat préférentiel pourrait les rendre plus difficiles à repérer et donc, à fréquenter. De plus, contrairement aux autres espèces observées lors de ce suivi, les porcs-épics d'Amérique n'utilisent pas le bord des cours d'eau comme corridors de déplacements préférentiels diminuant ainsi les chances de trouver les différents passages. Toutefois, il est à noter que le porc-épic d'Amérique observé aux TBA 600 du ruisseau des Brûlés a été retrouvé mort à proximité des passages lors de la cinquième période du suivi.

En général, la fréquentation des passages par le raton laveur fut relativement constante tout au long du suivi. Cette observation peut être due au fait que les mouvements de cette espèce peuvent parfois être aléatoires. En effet, les périodes de dispersion des jeunes et, dans une moindre mesure, de reproduction peuvent être variables dans le temps (Faune et flore du pays, 2010; Smith-Patten and Patten, 2008). Ainsi, à certains passages (le TBA 600 du lac Chominich, le lit mineur de la décharge du lac Horatio-Walker et le lit mineur du ruisseau Bureau), la fréquentation est relativement constante à toutes les périodes du suivi, ce qui laisse supposer que ces passages sont présents à l'intérieur du domaine vital des individus alors qu'à d'autres passages (le lit majeur de la décharge du lac à Noël, les tablettes en bois du ruisseau Sans nom et de la rivière Cachée et le TBA 600 du ruisseau des Brûlés Sud) la fréquentation est sporadique et n'a souvent eu lieu que lors d'une seule période du suivi supposant ainsi la fréquentation de ces passages lors de la dispersion des juvéniles (Figure 3.11) (Annexe 1). De plus, la taille des pistes observées, aux tablettes en bois et au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Sud, lors des dernières périodes étant plus petites que celles des périodes précédentes renforce ainsi la supposition de l'utilisation de ces passages pour la dispersion des jeunes. L'accroissement de la fréquentation lors des deux dernières périodes du suivi est principalement dû à deux individus, l'un au lit mineur du ruisseau Bureau et l'autre à celui de la décharge du lac Horatio-Walker, qui sont revenus plusieurs fois au cours d'une même nuit pour prendre les appâts.



Figure 3.11. Deux rats laveurs juvéniles fréquentant le lit majeur de la rivière Jacques-Cartier le 21 octobre 2009 lors de leurs déplacements. Photo : MTQ, photo non publiée.

La fréquentation des passages par la mouffette rayée n'a commencé que vers le début du moins de septembre ce qui correspond à l'augmentation des déplacements de cette espèce reliée majoritairement à la recherche de terrier et de nourriture pour l'hibernation et à la dispersion des jeunes (Faune et flore du pays, 2010; Smith-Patten and Patten, 2008).

Les mustélidés sont des espèces très actives tout au long de l'année ce qui pourrait expliquer l'usage important des passages tout au long de la période de suivi (CEAEQ, 2006). L'augmentation des fréquentations observée chez le vison d'Amérique dans le mois d'août peut être le résultat de la dispersion des juvéniles qui se produit généralement à cette période de l'année (CEAEQ, 2006).

La fréquentation des structures par le renard roux semble se faire selon deux pics distincts. Le premier a lieu durant le mois de juillet et le second majoritairement dans le mois d'octobre. Ces deux pics d'activité peuvent être expliqués par le comportement du renard roux. En effet, le premier pic correspondrait aux déplacements liés à la recherche de nourriture par les adultes afin de subvenir aux besoins des jeunes alors que le second pic correspondrait à la période de dispersion des juvéniles (CEAEQ, 2006; Grilo et al., 2009; Rodriguez et al., 1997). Ces suppositions sont supportées par les photos prises aux lits

majeurs. En effet, les individus photographiés lors du premier pic sont des individus adultes alors que ceux photographiés lors du second pic sont pour la plupart des juvéniles (Figure 3.12).

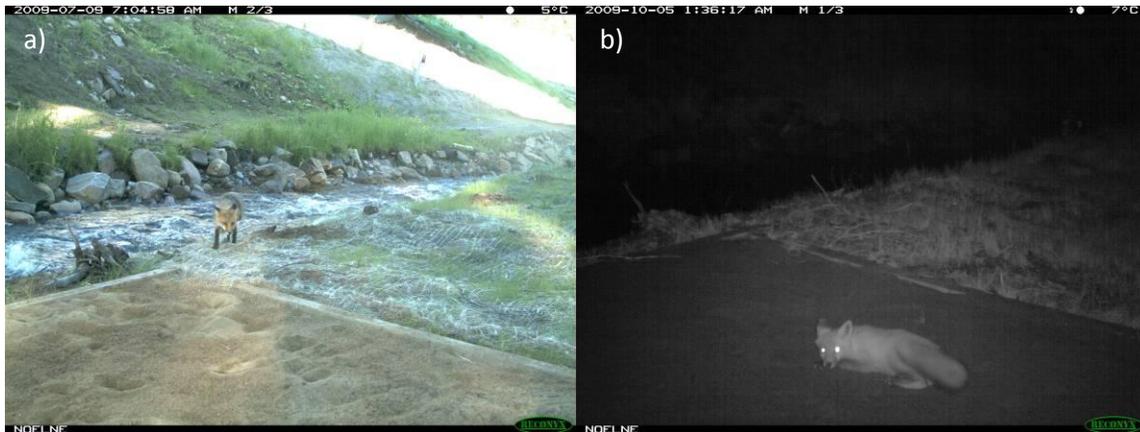


Figure 3.12. Fréquentation du lit majeur de la décharge du lac à Noël par un renard roux a) adulte au mois de juillet et b) juvénile au mois d’octobre. Photos : MTQ, photo non publiée.

La présence du porc-épic d’Amérique dans les passages est relativement constante jusqu’à la sixième période où la fréquentation diminue de manière importante. Cette diminution coïncide avec la période de reproduction de cette espèce où les déplacements des individus pourraient être plus faibles en raison des activités liées à l’accouplement (Faune et flore du pays, 2010).

La fréquentation importante du lit majeur de la rivière Jacques-Cartier est le résultat des déplacements répétés d’une mouffette rayée au cours de mêmes nuits durant la septième période tel qu’expliqué précédemment. Par contre, le grand nombre de déplacements enregistrés au TBA 600 du lac Chominich est dû essentiellement à la présence récurrente tout au long du suivi du vison d’Amérique et du raton laveur. En effet, ces deux espèces ont fréquenté ce passage de manière relativement constante au cours du suivi, surtout en ce qui a trait au raton laveur (Annexe 1). Tout comme le lit majeur de la rivière Jacques-Cartier, la fréquentation de celui de la décharge du lac à Noël résulte de la présence répétée du renard roux au cours d’une même nuit dans les dernières périodes du suivi. Le lit mineur du ruisseau Bureau a été fréquenté de manière relativement constante par le porc-épic

d'Amérique et le raton laveur expliquant ainsi son nombre élevé de fréquentations. Le vison d'Amérique est responsable d'une bonne partie des déplacements relevés au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Sud alors que le reste des fréquentations est dû à la présence sporadique des autres espèces. Exceptée la présence récurrente du raton laveur, la fréquentation du passage de la décharge du lac Horatio-Walker est le résultat de la présence aléatoire de nombreuses espèces. La majorité des déplacements enregistrés à la tablette en bois du ruisseau sans nom est due à la présence constante d'hermines à ce passage alors que la majorité des espèces présentes au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Nord n'a fréquenté qu'une seule fois le passage. Finalement, les fréquentations de la tablette en bois de la rivière Cachée ont été faites de manière sporadique par quelques espèces. Ainsi, il est possible de voir que certains de ces passages (le TBA 600 du lac Chominich, le lit mineur du ruisseau Bureau, le TBA 600 du ruisseau des Brûlés Sud et la tablette en bois du ruisseau sans nom) ont probablement été intégrés dans le domaine vital de quelques espèces ce qui a contribué à augmenter le nombre de déplacements enregistrés à ces derniers. Les autres passages semblent davantage avoir été fréquentés pour la dispersion des espèces puisqu'aucune d'entre elles n'est présente de façon dominante tout au long du suivi.

La majorité des fréquentations des passages fauniques a pu être classée comme étant une traversée. Ceci permet de supposer que les différentes espèces utilisent ces derniers dans leurs déplacements quotidiens ou lors de la dispersion tel que démontré par la période de fréquentation, la récurrence ou non des fréquentations et la maturité des individus photographiés lors des différentes périodes. Les nombreux allers-retours de l'hermine et du raton laveur sont reliés à la présence des appâts. En effet, plusieurs fois des ratons laveurs ont été photographiés en train de récupérer les différents appâts alors que les allers-retours de l'hermine sont principalement concentrés à la tablette en bois du ruisseau sans nom où un nombre incalculable de traces était présent sur le tampon-encreur du côté Est de la chaussée Est. La plupart des usages, dont la direction est indéterminée, proviennent des lits mineurs et majeurs en raison de l'orientation de la caméra. En effet, l'objectif de la caméra était principalement centré sur les appâts, donc en direction du sol, ce qui a eu pour conséquence de réduire le champ de vision. Ainsi, il arrivait souvent que les individus

disparaissaient du champ de vision sans possibilité de déterminer la direction prise. Pour les TBA 600 et les tablettes en bois, les usages indéterminés sont le résultat de la présence d'une seule trace ou de traces présentes seulement que d'un côté du tampon-encreur empêchant ainsi d'évaluer le type d'utilisation qui a été faite du passage.

L'absence de piste le long des clôtures est probablement associée au substrat présent. Ce dernier étant principalement composé de roches, d'herbacées et de terre séchée rendait difficile l'impression des empreintes. Conséquemment, l'absence de piste ne signifie pas nécessairement que les espèces n'ont pas suivi les clôtures pour atteindre les passages.

Les deux méthodes utilisées, soit les tampons-encreurs et les caméras numériques, ont bien fonctionné tout au long du suivi. Les caméras ont été utilisées parce qu'il était impossible de faire des tampons-encreurs pour les lits majeurs. Ces derniers étant trop larges et trop à découvert. Les forces et les faiblesses de chacune de ces méthodes ont pu être observées durant l'inventaire. En effet, les tampons-encreurs sont plus économiques à court terme et sont plus efficaces que certaines marques de caméras pour détecter les espèces qui se déplacent plus rapidement que le temps de réaction des appareils (Ford et al., 2009). Cependant, en plus d'être moins économiques à long terme, les tampons-encreurs possèdent deux principales limites. En effet, il est plus difficile d'identifier les espèces à partir des traces puisque, pour certaines espèces faisant parties de la même famille, les traces se ressemblent entre elles et les grosseurs peuvent se recouper entre les mâles et les femelles des différentes espèces (Bellis, 2008; Ford et al., 2009). De plus, il est impossible de différencier les individus seulement à partir des traces. Ainsi, il est difficile de savoir si les fréquentations faites sont le résultat d'un usage répété par un seul individu ou si plusieurs individus ont emprunté le passage (Bellis, 2008). Ensuite, les informations contenues sur les feuilles des tampons-encreurs se dégradent dans l'intervalle où elles sont posées et récupérées. La dégradation des informations est due à la fréquentation répétée des passages par la faune (Figure 3.10) ou à leur comportement et aux intempéries (Figure 3.13) (Ford et al., 2009; Hardy et al., 2003).

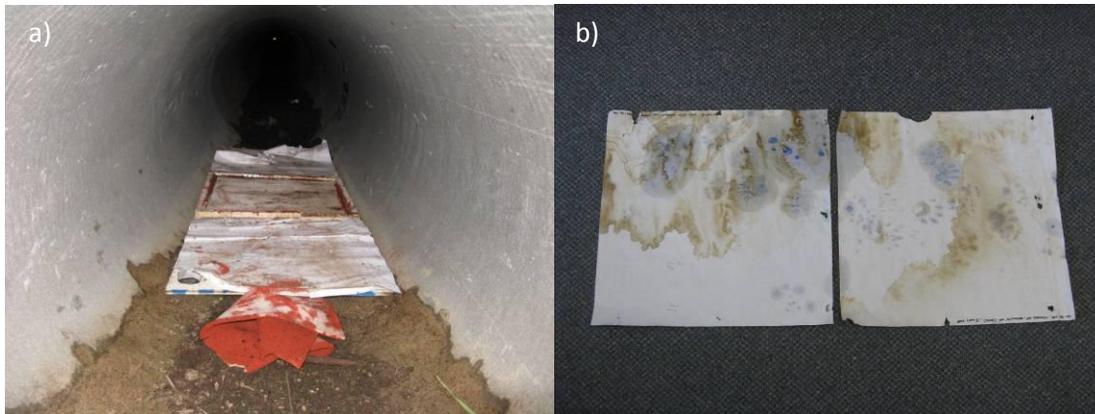


Figure 3.13. Dégradation des informations présentes sur les feuilles des tampons-encreurs due a) au comportement des individus (destruction du dispositif par un porc-épic d'Amérique au TBA 600 du ruisseau des Brûlés Nord) et b) des intempéries (infiltration d'eau dans le TBA 600 du lac Chominich). Photos : Maryse Boucher

L'emploi de caméras numériques lors de suivi comporte plus d'avantages que d'inconvénients. En effet, l'identification des espèces est plus fiable à l'aide des caméras, les coûts d'opération sont plus faibles à long terme (nécessitent moins d'entretien et moins de visite sur le terrain) et la sensibilité des caméras aux conditions climatiques, aux caractéristiques des passages et à l'activité de la faune est moindre que pour les tampons-encreurs (Bellis, 2008; Ford et al., 2009; Hardy et al., 2003). De plus, les caméras peuvent fournir des informations supplémentaires sur la fréquentation des passages par la faune comme la date et l'heure de la fréquentation, le nombre d'individus, quelques fois l'âge et le sexe des individus et le comportement à l'intérieur des passages (Bellis, 2008; Ford et al., 2009). Cependant, l'utilisation de caméras est très dispendieuse à court terme et certaines espèces sont trop rapides pour être détectées. En effet, il arrive que les individus soient déjà passés avant que la caméra ne se déclenche (Figure 3.14) (Bellis, 2008; Ford et al., 2009). Le tableau 3.5 résume les avantages et les inconvénients liés à l'utilisation des systèmes pour relever les empreintes et les caméras selon les observations faites par Ford et al. (2009).



Figure 3.14. Exemple d'un individu qui est passé trop vite au lit mineur de la décharge du lac Horatio-Walker pour que la caméra puisse le photographier en entier. Photo : MTQ, photo non publiée.

Tableau 3.5. Résumé des avantages et inconvénients des systèmes utilisant les empreintes et des caméras numériques. Modifié de Ford et al., 2009.

Problématique	Système utilisant les empreintes	Caméras numériques
Fréquence du suivi	2 - 7 jours	plus de 2 semaines
Dérangement pour la faune	Diminue inversement à la durée du suivi	Le flash des caméras peut nuire à certaines espèces particulièrement la nuit
Identification des espèces	Limitée par la famille des espèces et l'état du dispositif	Efficacité élevée pour l'identification à l'espèce
Résolution temporel du nombre d'utilisation	Augmente avec le nombre d'utilisation	Ne dépend pas du nombre d'utilisation
Coûts initiaux	Faible	Élevé
Coûts d'opération	Élevé	Faible
Maintenance	Élevé	Faible
Dépendance aux conditions climatiques	Le vent, la neige et la pluie peuvent affecter négativement la condition du dispositif	La condensation ou le givre peut recouvrir la lentille
Sécurité	Risques faibles de vol ou de vandalisme	Risques élevés de vol ou de vandalisme

3.6. Faits saillants du suivi

Le suivi réalisé, à l'été 2009, dans les neuf passages fauniques achevés de la route 175 a permis de démontrer leur fréquentation par treize espèces de la petite faune dont les principales ont été le raton laveur, la mouffette rayée, le renard roux, le vison d'Amérique, le porc-épic d'Amérique et l'hermine. Il a également été possible d'observer la prédominance ou la faible fréquentation de certaines espèces pour certains types de passages. Ainsi, le raton laveur et la mouffette rayée ont fréquenté tous les types de passages alors que, le renard roux, le vison d'Amérique, le porc-épic d'Amérique et l'hermine ont semblé concentrer leur fréquentation pour un type de passage en particulier. Le renard roux et le porc-épic d'Amérique fréquentaient particulièrement les lits majeurs et mineurs respectivement alors que les déplacements du vison d'Amérique et de l'hermine se réalisaient principalement dans les TBA 600 et sur les tablettes en bois. De plus, les passages semblent être fréquentés pour les déplacements journaliers et pour des déplacements qui pourraient être liés à la dispersion des juvéniles. En effet, quelques passages ont été fréquentés de manière relativement constante à toutes les périodes du suivi par les mêmes espèces alors que d'autres ont vu leur nombre d'espèces et de fréquentation augmenter ou diminuer au cours de la saison.

La poursuite du suivi est essentielle pour les années futures. En effet, cela permettra de mieux évaluer la fréquentation des passages par les différentes espèces présentes le long de la route 175. De plus, il faudrait obtenir plus d'informations sur les densités relatives de chaque espèce pour être en mesure de déterminer avec justesse s'il y a préférence ou pas par certaines espèces de certains passages. En effet, les densités pour une espèce donnée peuvent être très variables d'un secteur à l'autre et elles peuvent avoir une influence déterminante sur les indices de fréquentation. De plus, les espèces nécessitent un certain temps d'adaptation avant d'utiliser de façon optimale les passages (Clevenger and Waltho, 2003; Mata et al., 2005). Cependant, quelques modifications pourraient être faites au suivi afin d'en augmenter l'efficacité :

- Le suivi devrait commencer plus tôt afin de couvrir un plus grand espace temps. Le point déterminant du début du suivi devrait être l'état de l'intérieur des TBA 600 et des tablettes en bois à proximité l'entrée. Ainsi, le suivi devrait débuter lorsque ces derniers sont secs et dépourvus de neige.
- La dimension des tampons-encreurs devrait être modifiée. La longueur de ces derniers devrait être augmentée afin d'éviter que des espèces puissent sauter par-dessus comme ce qui a probablement été le cas à certaines occasions, entre autres, avec les mustélidés telle la martre par exemple. En effet, la présence de cette espèce n'a toujours été révélée que grâce à la présence d'une seule empreinte laissant supposer qu'elle fut en mesure de sauter par-dessus puisque la largeur des dispositifs correspondait à celle des passages évitant ainsi les contournements.
- L'intervalle de deux semaines entre la récolte des feuilles des tampons-encreurs devrait être réduit à une semaine diminuant ainsi la dégénérescence des données conséquence des intempéries et de la fréquentation de la faune qui sera elle-même plus facile à évaluer.
- Idéalement, des caméras devraient être installées à chacune des extrémités des lits majeurs sinon le positionnement des caméras devrait être modifié. En effet, lors du suivi, les caméras étaient orientées vers le sol où étaient placés les appâts, ce qui limitait le champ de vision. Les caméras devraient être disposées de manière à voir l'entrée du passage et l'endroit où les appâts ont été déposés. Ainsi, les appâts devraient être plus éloignés de l'objectif qu'ils ne l'étaient à l'été 2009. Par exemple, les caméras pourraient être placées sous la chaussée est et être dirigées vers l'ouverture de la chaussée ouest et les appâts pourraient se trouver sous la chaussée ouest ce qui donnerait un plus grand champ de vision. Donc, il sera plus facile d'évaluer le type de mouvement (traversée ou aller-retour) effectué par les individus ainsi que leur comportement à l'intérieur des passages.

- Lorsque de nouveaux passages seront terminés, ils devront être incorporés au suivi. Avec l'augmentation du nombre de passages, il sera possible d'en appâter une partie, mais pas l'autre ce qui permettrait de voir à quel point la présence des appâts influence la fréquentation des passages par la faune. Ainsi, il sera possible de justifier si oui ou non l'utilisation d'appâts est nécessaire pour inciter les espèces à emprunter les passages ou si la présence des clôtures est suffisante.

4. RECOMMANDATIONS

Suite à la recherche dans la littérature et aux observations faites lors du suivi de l'été 2009, le long de la route 175, il est possible de faire ressortir certaines recommandations en ce qui a trait à la construction, l'aménagement ou le suivi des passages fauniques. Bien que plusieurs recommandations générales puissent être faites, chaque cas est particulier et il est important de pouvoir adapter les connaissances acquises aux différentes situations rencontrées.

- L'inclusion des passages fauniques lors de la construction ou de la reconstruction de routes ou autoroutes doit être considérée dès les premières étapes d'un projet. Ainsi, l'emplacement et le type des passages fauniques devraient être déterminés lors de la réalisation de l'étude des impacts sur l'environnement.
- L'emplacement des passages fauniques est un élément important pour favoriser leur fréquentation par la faune (Foster and Humphrey, 1995; Ruediger, 2007). En effet, les passages doivent être situés aux endroits où les animaux sont le plus susceptibles d'approcher les routes. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour déterminer les emplacements les plus appropriés. Pour la construction de nouvelles routes, l'identification des corridors naturels de déplacements doit être utilisée comme principale méthode pour positionner les passages. Ces corridors peuvent être identifiés à partir des observations faites sur le terrain, de photos aériennes et de systèmes d'information géographique (Ruediger, 2007). Pour les routes existantes, en plus de l'identification des corridors biologiques, il est possible d'effectuer des inventaires pour déterminer les zones où la mortalité est la plus élevée ce qui indiquerait une voie préférentielle de déplacements pour la faune (Gunson et al., 2009).
- Afin de bien évaluer les types de passage ainsi que les aménagements à préconiser, il est essentiel de connaître la biologie des espèces présentes dans la région où ont

lieu les travaux (Gunson et al., 2009; Hartmann, 2002; Rodriguez et al., 1996). Ainsi, il faut connaître la distribution, l'abondance ainsi que les besoins écologiques et comportementaux des espèces présentes. En plus de faciliter la prise de décision quant aux types de passages et les types d'aménagement à prioriser, ces informations permettront de déterminer la quantité de passages nécessaires ainsi que la distance à laisser entre chacun d'eux (Bowman et al., 2002; Mata et al., 2005).

- Il est préférable d'utiliser en alternance, lorsque les conditions le permettent, plusieurs types de passages fauniques à l'intérieur d'un même secteur.
- Lors du choix des types de passage et des aménagements, il est préférable de conserver une approche multi-spécifique puisque les espèces ne sont pas isolées les unes des autres, mais interagissent ensemble au sein de l'écosystème (Hartmann, 2002). Cependant, des passages spécifiquement adaptés peuvent être utilisés lorsque des espèces à statut particulier (espèce en voie de disparition ou espèce menacée par exemple) ou très sensibles aux impacts des routes sont présentes dans le secteur (Ascensao and Mira, 2007; Cramer and Bissonette, 2005). Dans ce cas, il serait préférable de combiner l'emploi de passages spécifiques avec l'utilisation de passages destinés à un plus grand nombre d'espèces.
- Les passages fauniques doivent être connectés au milieu naturel pour favoriser leur fréquentation par la faune. Cette connexion est obtenue par la création de couvert entre le passage et le milieu. Le couvert peut être créé grâce à la plantation d'arbres et d'arbustes et à la disposition d'andains de débris ligneux.
- L'utilisation de tuyaux de drainage comme passages fauniques devrait être favorisée en particulier dans les endroits où aucune modification du réseau routier n'est prévue et où le taux de mortalité et/ou l'entrave aux déplacements le justifient. En effet, peu de modifications sont nécessaires pour augmenter la fréquentation de ces tuyaux par la faune. De plus, les coûts de transformations sont faibles

comparativement à ceux de construction de passages fauniques. Diverses modifications peuvent être apportées tels l'aménagement d'un couvert végétal aux ouvertures et à l'approche des tuyaux et/ou l'installation de tablette en porte-à-faux pour permettre aux espèces d'emprunter les structures malgré la présence continue du cours d'eau (Foresman, 2004; Ruediger, 2007).

- L'utilisation de clôtures pour empêcher la faune d'atteindre la route et pour la diriger vers les passages devrait être favorisée. En effet, il a été démontré que la présence de passages fauniques en l'absence de clôture permet à la faune d'effectuer des déplacements sécuritaires d'un côté à l'autre des routes, mais n'empêche pas les collisions avec les véhicules (Grilo et al., 2007). Ainsi, il est plus sécuritaire pour les usagers de la route et plus bénéfique pour la faune de jumeler les passages fauniques à des clôtures pour la faune. De plus, si le passage est bien positionné et aménagé, seulement quelques mètres de clôtures de part et d'autre du passage seront requis (Ruediger, 2007).
- Idéalement, des suivis devraient être réalisés avant et après la construction des passages fauniques. Les résultats obtenus lors de ces suivis permettront d'évaluer l'efficacité des passages. Advenant qu'aucun suivi n'ait été fait avant la construction, il est tout de même important de suivre les passages suite à leur aménagement. Ce suivi permettra d'évaluer la fréquentation des structures par les différentes espèces présentes dans le secteur. Les suivis doivent être effectués durant plusieurs années pour être capables d'estimer le plus précisément possible la fréquentation des passages. Les suivis devraient durer au moins cinq ans ce qui laisse le temps à la majorité des espèces de s'adapter à la présence des passages (Clevenger and Waltho, 2003; Cramer and Bissonette, 2005). La méthode de suivi utilisée devrait être décidée en fonction des passages, des espèces, du budget ainsi que des questions auxquelles le suivi tente de répondre (Tableau 3.5) (Ford et al., 2009). Idéalement, au Québec, les suivis devraient être effectués durant les trois saisons que sont le printemps, l'été et l'automne puisque la majorité des

déplacements ont lieu lors de ces périodes. En effet, plusieurs espèces hibernent durant l'hiver et les déplacements des autres espèces sont réduits en raison de la température et de la quantité d'énergie nécessaire pour se mouvoir durant cette saison. De plus, la présence de neige peut rendre inaccessible l'accès à certains types de passages tels les tuyaux secs ou les tablettes en bois. Il est donc impossible pour les espèces de les utiliser et difficile pour les gestionnaires d'en faire le suivi.

- Les résultats obtenus lors des suivis devraient être publiés afin de partager les connaissances et les expériences acquises lors de ces derniers. Ainsi, ces publications pourront servir lors de références pour de futures recherches.
- Les passages devraient être entretenus et réparés pour qu'ils puissent assurer leur rôle adéquatement (Cramer and Bissonette, 2005; Dodd et al., 2004). En effet, la neige, la fonte des neiges et les crues sont d'autant de phénomènes qui peuvent modifier l'apparence ou la fonctionnalité des structures. Par exemple, les crues peuvent emporter les abris (andains de débris ligneux) mis en place à l'intérieur des lits majeurs modifiant ainsi l'efficacité de ce type de passage pour certaines espèces.
- Il serait important de créer une chaire de recherche sur l'écologie des routes au Québec. Ce centre de recherches permettrait de développer les connaissances de façon plus soutenue, structurée et efficace, de regrouper différentes expertises et d'assurer une continuité. Cette chaire de recherche pourrait être constituée de plusieurs partenaires dont les activités sont en lien avec l'écologie des routes comme par exemple, le ministère des Transports du Québec, le ministère des Transports du Canada, Hydro-Québec, des universités, etc. Aux États-Unis, une telle chaire a été créée au Montana afin d'acquérir des connaissances et de fournir des solutions aux problématiques soulevées (WTI, s.d.).

CONCLUSION

La présence des réseaux routiers engendre plusieurs impacts qui affectent les populations et les habitats de la petite faune terrestre. La mortalité due aux collisions de la faune avec les véhicules est l'impact le plus visible de la présence des routes. Cette mortalité peut entraîner de graves conséquences pour les populations dépendamment de la densité, du taux de reproduction, du comportement, la mobilité et la longévité des espèces. De plus, les taux de mortalité sont influencés par les caractéristiques des infrastructures routières. Avant d'atteindre un certain seuil, la vitesse et la densité des véhicules sont les deux caractéristiques ayant le plus d'effet sur la mortalité des individus. Cependant, lorsque le seuil est atteint, ces facteurs contribuent davantage à l'effet de filtre aux déplacements des individus c'est-à-dire la restriction de la mobilité de la faune entre les différentes parcelles d'habitats. En plus de la vitesse et la densité des véhicules, le comportement des individus vis-à-vis les infrastructures routières joue un rôle important sur l'effet de filtre créé par les routes. Ces impacts ont plusieurs conséquences sur les populations telles une diminution de l'accès aux ressources, la subdivision des populations et l'entrave au processus d'émigration et d'immigration. Ultiment, l'interaction entre ces conséquences peut mener à l'extinction des populations.

À ces impacts sur les populations s'ajoutent ceux produits sur les habitats. Effectivement, la construction des routes entraîne la fragmentation et une perte directe et indirecte des habitats. Ces conséquences ajoutent à l'effet de filtre aux déplacements des individus ainsi qu'à la diminution des ressources et la subdivision des populations ce qui contribue à augmenter les risques d'extinction.

Pour maintenir la perméabilité entre les habitats et ainsi, diminuer les impacts du réseau routier sur la faune, l'implantation de passages fauniques le long des infrastructures routières a principalement été développée en Europe dans les années 1960. Depuis, leur utilisation s'est répandue à plusieurs pays sur tous les continents. Il existe maintenant plusieurs types de passages fauniques répartis en deux grandes catégories indiquant le

positionnement du passage par rapport à la route soient les passages supérieurs et inférieurs. Plusieurs caractéristiques peuvent influencer la fréquentation des différents passages par la faune. Ces caractéristiques peuvent être liées aux passages et leur aménagement (dimension, présence de couvert, emplacement, etc.) et à la biologie des espèces présentes (comportement, densité, etc.).

Les passages fauniques construits sous certains tronçons de la route 175 sont parmi les premiers à avoir été réalisés au Québec. L'étude réalisée à l'été 2009 sur ces passages a permis de démontrer la fréquentation de ces derniers par plusieurs espèces de la petite faune lors de déplacements. De plus, il serait possible de penser, selon les résultats obtenus, que les passages sont fréquentés pour différents types de déplacements (journalier ou dispersion) dépendamment des différentes périodes du suivi. Ce premier suivi a également permis de soulever plusieurs modifications qui pourraient être apportées afin d'améliorer la prise des données pour les années subséquentes. Ainsi, les conclusions qu'il serait possible de tirer, en particulier en ce qui a trait aux types de déplacements et à l'impact de la présence d'appâts, seraient peut-être plus représentatives de la réalité.

Suite à la revue de littérature ainsi qu'aux résultats obtenus lors du suivi effectué sur la route 175, il a été de possible de faire ressortir certains éléments généraux qu'il est important de prendre en considération lors de la construction et l'aménagement de passages fauniques. Cependant, chaque emplacement et environnement adjacent possède ses propres caractéristiques qu'il est important de prendre en compte lors de la construction d'un passage faunique.

L'inclusion des passages fauniques lors de la construction de routes constitue un avancement dans la considération de la faune lors de l'expansion des populations humaines. La prise en compte de la biologie des espèces ainsi que des habitats afin d'harmoniser le développement anthropique et la nature s'inscrit dans un concept de développement durable. Cependant, plusieurs efforts doivent encore être faits en ce sens. En effet, plusieurs connaissances sont toujours inconnues et pourraient être essentielles afin de mieux

coordonner le besoin croissant de ressources avec leur pérennité. L'implantation d'un centre de recherche serait une bonne façon de regrouper les expertises nécessaires à l'acquisition de ces connaissances. En outre, il permettrait d'assurer une continuité dans le développement des compétences ce qui à long terme serait bénéfique autant d'un point de vue écologique qu'économique.

RÉFÉRENCES

- Alexander, S. M., Waters, N. M. and Paquet, P. C. (2005). Traffic volume and highway permeability for a mammalian community in the Canadian Rocky Mountains. *The Canadian Geographer*, vol. 49, no° 4, p. 321-331.
- Alexander, S. M. and Waters, N. M. (2000). The effects of highway transportation corridors on wildlife: a case study of Banff National Park. *Transportation Research Part C*, vol. 8, no° 1-6, p. 307-320.
- Ascensao, F. and Mira, A. (2007). Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecological Research*, vol. 22, no° 1, p. 57-66.
- Balkenhol, N. and Waits, L. P. (2009). Molecular road ecology: exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. *Molecular Ecology*, vol. 18, no° 20, p. 4151-4164.
- Beier, P. and Loe, S. (1992). « In my experience... »: A checklist for evaluating impacts to wildlife movement corridors. *Wildlife Society Bulletin*, vol. 20, no° 4, p. 434-440.
- Bellis, M. A. (2008). *Evaluating the effectiveness of wildlife crossing structures in southern Vermont*. Thèse de maîtrise en science, Université du Massachusetts Amherst, Amherst, Massachusetts, 116 p.
- Bissonette, J. A. and Cramer, P. C. (2008). *Evaluation of the use and effectiveness of wildlife crossings: NCHRP report 615*. Washington D. C., Transportation research board, 162 p.
- Bouffard, M. (2008). *Les corridors biologiques et leur prise en compte dans les projets routiers*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 81 p.
- Brockie, R. E., Sadleir, R. M. F. S. and Linklater, W. L. (2009). Long-term wildlife road-kill counts in New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology*, vol. 36, no° 2, p. 123-134.

- Bowman, J., Jaeger, J. A. G. and Fahrig, L. (2002). Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. *Ecology*, vol. 83, no° 7, p. 2049-2055.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (2006). Paramètres d'exposition chez les mammifères. Fiches descriptives. In Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Écotoxicologie. *Mammifères*, [En ligne]. <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/ecotoxicologie/mammifere/index.htm> (Page consultée le 24 février 2010).
- Clevenger, A. P. (2005). Conservation value of wildlife crossings: Measures of performance and research directions. *GAIA – Ecological perspectives for science and society*, vol. 14, no° 2, p. 124-129.
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B. and Gunson, K. E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, vol. 81, no° 8, p. 1378-1391.
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B. and Gunson, K. E. (2001). Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of applied Ecology*, vol. 38, no° 6, p. 1340-1349.
- Clevenger, A. P. and Waltho, N. (2003). Long-term, year-round monitoring of wildlife crossing structures and the importance of temporal and spatial variability in performance studies. In The 2003 International Conference on Ecology and Transportation. ICOET 2003. *Abstracts*, [En ligne] http://www.icoet.net/ICOET_2003/03abstractsfinal.asp (Page consultée le 4 février 2010).
- Clevenger, A. P. and Waltho, N. (1999). Dry drainage culvert use and design considerations for small- and medium-sized mammal movement across a major transportation corridor. In International Conference on Ecology and Transportation. Links. *ICOWET 1999 proceedings*, [En ligne] <http://www.icoet.net/ICOWET/99proceedings.asp> (Page consultée le 4 février 2010).
- Consortium GENIVAR-TECSULT (2003). *Étude d'impact du projet d'amélioration de la route 175 à 4 voies divisées du km 84 au km 227 (143 km) dans la réserve faunique des Laurentides et dans la Ville de Saguenay*. Rapport du Consortium GENIVAR-TECSULT pour le ministère des Transports du Québec et présenté au ministère du

Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et au ministre des Transports du Canada. 290 p. et annexes.

Corlatti, L., Hackländer, K. and Frey-Roos, F. (2009). Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. *Conservation biology*, vol. 23, no° 3, p. 548-556.

Cramer, D. C. and Bissonette, J. A. (2005). Wildlife crossings in North America: The state of the science and practice. *In International conference on ecology and transportation. ICOET 2005, Proceedings. Chapter 9 pages 442-460*, [En ligne]. http://www.icoet.net/ICOET_2005/05proceedings_directory.asp (Page consultée le 4 février 2010).

Dodd Jr., C. K., Barichivich, W. J. and Smith, L. L. (2004). Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation*, vol. 118, no° 5, p. 619-631.

Donaldson, B. M. (2005). Use of highway underpasses by large mammals and other wildlife in Virginia and factors influencing their effectiveness. *In International conference on ecology and transportation. ICOET 2005, Proceedings. Chapter 9 pages 426-441*, [En ligne]. http://www.icoet.net/ICOET_2005/05proceedings_directory.asp (Page consultée le 4 février 2010).

Environmental Protection Agency (EPA) (2010). Chapter 3, Culverts. *In U. S. Environmental Protection Agency. Water. Wetlands, Oceans and Watersheds. Polluted Runoff (Nonpoint source pollution). A guideline for maintenance and service of unpaved roads*, [En ligne]. <http://www.epa.gov/nps/unpavedroads.html> (Page consultée le 10 février 2010).

Fahrig, L. and Rytwinski, T. (2009). Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and society*, vol. 14, no° 1, p. 21-41.

Faune et flore du pays, 2010. Fiches d'information sur les mammifères. *In Faune et flore du pays. Espèces. Fiches d'information sur les mammifères*, [En ligne]. http://www.hww.ca/hww_f.asp?id=8&pid=1 (Page consultée le 24 février 2010).

- Ford, A. T., Clevenger, A. P. and Bennett, A. (2009). Comparison of methods of monitoring wildlife crossing-structures on highways. *Journal of Wildlife Management*, vol. 73, no° 7, p. 1213-1222.
- Foresman, K. R. (2004). *The effects of highways on fragmentation of small mammal populations and modifications of crossing structures to mitigate such impacts: Final report*. Montana department of transportation, Research section, 39 p.
- Forman, R. T. T. (2000). Estimate of the area affected ecologically by the road system in the united states. *Conservation Biology*, vol. 14, no° 1, p. 31-35.
- Forman, R. T. T. and Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 29, p. 207-231.
- Forman, R. T. T. and Deblinger, R. D. (2000). The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway. *Conservation Biology*, vol. 14, no° 1, p. 36-46.
- Forman, R. T. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C. R., Heanue, K., Jones, J. A., Swanson, F. J., Turrentine, T. and Winter, T. C. (2003). *Road ecology: Science and solutions*. Washington, Island Press, 481 p.
- Foster, M. L. and Humphrey, S. R. (1995). Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, vol. 23, no° 1, p. 95-100.
- Glista, D. J., DeVault, T. L. and DeWoody, J. A. (2009). A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and urban planning*, vol. 91, no° 1, p. 1-7.
- Grilo, C., Baltazar, C., Santos-Reis, M., Sliva, C., Gomes, L. and Bissonette, J. (2007). Patterns of carnivore road casualties in southern Portugal. *In International conference on ecology and transportation. ICOET 2007, Proceedings. Chapter 7 pages 545-566*, [En ligne]. http://www.icoet.net/ICOET_2007/07proceedings.asp (Page consultée le 4 février 2010).

- Grilo, C., Bissonette, J. A. and Santos-Reis, M. (2009). Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: Consequences for mitigation. *Biological Conservation*, vol. 142, no° 2, p. 301-313.
- Grilo, C., Bissonette, J. A. and Santos-Reis, M. (2008). Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: implications for road planning and mitigation. *Biodiversity and Conservation*, vol. 142, no° 7, p. 1685-1699.
- Gryz, J. and Krauze, D. (2008). Mortality of vertebrates on a road crossing the Biebrza Valley (NE Poland). *European Journal of Wildlife Research*, vol. 54, no° 4, p. 709-714.
- Gunson, K. E., Clevenger, A. P., Ford, A. T., Bissonette, J. A. and Hardy, A. (2009). A comparison of data sets varying in spatial accuracy used to predict the occurrence of wildlife-vehicle collisions. *Environmental Management*, vol. 44, no° 2, p. 268-277.
- Haas, C. D. (2000). *Distribution, relative abundance, and roadway underpass responses of carnivores throughout the Puente-Chino hills*. Thèse de maîtrise en biological sciences, California state polytechnic university, Pomona, Californie, 110 p.
- Hardy, A., Clevenger, A. P., Huijser, M. and Neale, G. (2003). An overview of methodes and approaches for evaluating the effectiveness of wildlife crossing structures : emphasizing the science in applied science. In UC Davis : Road Ecology Center. *Site de l'Université de Californie*, [En ligne]. http://escholarship.org/uc/jmie_roadeco (page consultée le 20 janvier 2010).
- Hartmann, M. (2002). An evaluation of wildlife crossing structures. In The Road-RIPorter. *Articles*, [En ligne]. <http://www.wildlandscpr.org/road-riporter> (Page consultée le 4 février 2010).
- Huijser, M. P., Kociolek, A., McGowen, P., Hardy, A., Clevenger, A. P. and Ament, R. (2007). *Wildlife-vehicule collision and crossing mitigation measures: a toolbox for the Montana department of transportation*. Western Transportation Institute. Rapport prepare pour le Montana Departement of Transportation, 112 p.
- Jackson, S.D. and Griffin, C.R. (2000). A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. In Messmer, T.A. and West, B., *Wildlife and Highways: Seeking solutions to*

an ecological and socio-economic dilemma (p. 143-159). Nashville, The Wildlife Society.

Jaeger, J. A. G., Bowman, J., Brennan, J., Fahrig, L., Bert, D., Bouchard, J., Charbonneau, N., Frank, K., Gruber, B., and Tluk von Toschanowitz, K. (2005). Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, vol., 185, no° 2-4, p. 329-348.

Leblanc, Y., Bolduc, F. et Donald, M. (2005). Upgrading a 144-km section of highway in prime moose habitat : where, why, and how to reduce moose-vehicle collisions. *In International conference on ecology and transportation. ICOET 2005, Proceedings. Chapter 9 pages 442-460*, [En ligne].
http://www.icoet.net/ICOET_2005/05proceedings_directory.asp (Page consultée le 4 février 2010).

Land, D. and Lotz, M. (1996). Wildlife crossing designs and use by Florida panthers and other wildlife in southwest Florida. *In International Conference on Ecology and Transportation. Links. ICOWET 1996 proceedings*, [En ligne].
<http://www.icoet.net/ICOWET/96proceedings.asp> (Page consultée le 4 février 2010).

Litvaitis, J. A. and Tash, J. P. (2008). An approach toward understanding wildlife-vehicle collisions. *Environmental management*, vol. 42, no° 4, p. 688-697.

Mata, C., Hervás, I., Herranz, J., Suárez, F. and Malo, J. E. (2008). Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway. *Journal of Environmental Management*, vol. 88, no° 3, p. 407-415.

Mata, C., Hervás, I., Herranz, J., Suárez, F. and Malo, J. E. (2005). Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway. *Biological conservation*, vol. 124, no° 3, p. 397-405.

Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (2006). *Actes des 4^{ème} rencontres «Routes et faune sauvage»*. Infrastructures de transport et petite faune. Sous le parrainage du ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer et du ministère de l'Écologie et du Développement Durable. République Française. 156 p.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2009). Axe routier 73/175. In Ministère des Transports du Québec. *Trouver un grand projet*, [En ligne].
http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/grands_projets/trouver_grand_projet/axe_routier_73_175 (Page consultée le 24 février 2010).

Ng, S. J., Dole, J. W., Sauvajot, R. M., Riley, S. P. D. and Valone, T. J. (2004). Use of highway undercrossings by wildlife in southern California. *Biological Conservation*, vol. 115, no° 3, p. 499-507.

Office de la langue française (2010). *Le grand dictionnaire terminologique*. [En ligne].
http://www.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index800_1.asp (Page consultée le 16 février 2010).

O'Brien, E. (2006). Chapter 9 : Habitat fragmentation due to transport infrastructure : Practical considerations. *Environmental Pollution*, vol. 10, p. 191-204.

Ostiguy, T. (2006). *États des connaissances actuelles et réalisations récentes en gestion de la faune le long des routes au Québec : Étude de deux chantiers majeurs sur le territoire de la Direction de la Capitale-Nationale au Ministère des Transports du Québec*. 35 p. Pour l'obtenir, communiquer avec Yves Bédard (yves.bedard@mtq.gouv.qc.ca).

Parcs Canada (2009). La faune... dans les montagnes. In Parcs Canada. Bibliothèque. Manuels et lignes directrices. *Le guide des montagnes*, [En ligne].
http://www.pc.gc.ca/docs/v-g/guidem-mguide/sec16/gm-mg16_f.asp (Page consultée le 10 février 2010).

Rico, A., Kindlmann, P. and Sedláček, F. (2007). Barrier effects of roads on movements of small mammals. *Folia Zoologica*, vol. 56, no° 1, p. 1-12.

Rodriguez, A., Crema, G. and Delibes, M. (1997). Factors affecting crossing of red foxes and wildcats through non-wildlife passages across a high-speed railway. *Ecography*, vol. 20, no° 3, p. 287-294.

Rodriguez, A., Crema, G. and Delibes, M. (1996). Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of Applied Ecology*, vol. 33, no° 6, p. 1527-1540.

- Roger, E. and Ramp, D. (2009). Incorporating habitat use in models of fauna fatalities on roads. *Diversity and Distribution*, vol. 15, no° 2, p. 222-231.
- Ruediger, B. (2007). Management considerations for designing carnivore highway crossings. *In International conference on ecology and transportation. ICOET 2007, Proceedings. Chapter 7, pages 545-566*, [En ligne].
http://www.icoet.net/ICOET_2007/07proceedings.asp (Page consultée le 4 février 2010).
- Service d'études techniques des routes et autoroutes (2000). *Fragmentation de l'habitat due aux infrastructures de transport. État de l'art. Rapport de la France. COST-Transport Action 341. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement. Direction des Routes*. 189 p.
- Smith-Patten, B. D. and Patten, M. A. (2008). Diversity, seasonality, and context of mammalian roadkills in the southern great plains. *Environmental Management*, vol. 41, no° 6, p. 844-852.
- Smith, R. L. and Smith, T. M. (2001). *Ecology and field biology*. 6e édition, United States, Benjamin Cummings, 771 p.
- Spellerberg, I. (1998). Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography Letters*, vol. 7, no° 5, p. 317-333.
- Trombulak, S. C. and Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, vol. 14, no° 1, p. 18-30.
- Unité de recherche Ecosystèmes Montagnards (Cemagref) (2006). *État des lieux de la connaissance et des attentes des acteurs sur l'impact des infrastructures de transport terrestre sur les paysages et les écosystèmes*. Synthèse bibliographique au niveau de l'arc alpin frontalier des connaissances acquises sur l'impact des infrastructures de transport terrestre sur les paysages, les écosystèmes et la biodiversité. République Française. Ministère de l'écologie et du Développement Durable. 113 p.

- Van Bohemen, H. D. (1998). Habitat fragmentation, infrastructure and ecological engineering. *Ecological engineering*, vol 11, no°1-4, p. 199-207.
- Van der Ree, R., van der Grift, E., Mata, C. and Suarez, F. (2007). Overcoming the barrier effect of roads – How effective are mitigation strategies. *In International conference on ecology and transportation. ICOET 2007. Proceedings. Chapter 7 pages 387-432*, [En ligne]. http://www.icoet.net/ICOET_2007/07proceedings.asp (Page consultée le 4 février 2010).
- Western Transportation Institute (s.d.). *Welcome to the Western Transportation Institute*, [En ligne]. <http://www.wti.montana.edu/> (Page consultée le 24 avril 2010).
- Yanes, M., Velasco, J. M. and Suarez, F. (1995). Permeability of roads and railways to vertebrates – The importance of culverts. *Biological Conservation*, vol. 71, no° 3, p. 217-222.

ANNEXE 1
FRÉQUENTATION DE CHACUN DES PASSAGES PAR LES ESPÈCES SELON
LES DIFFÉRENTES PÉRIODES DU SUIVI.

