

**SUIVI DES IMPACTS DU PROLONGEMENT
D'UNE AUTOROUTE SUR LE CERF DE VIRGINIE
AUTOROUTE ROBERT-CLICHE (73),
SAINT-JOSEPH-DE-BEAUCE
ET BEAUCEVILLE**

¹Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats (MRNF)

²Direction de l'expertise, région Capitale-Nationale – Chaudière-Appalaches (MRNF)

³Direction de la Chaudière-Appalaches (MTQ)

**SUIVI DES IMPACTS DU PROLONGEMENT
D'UNE AUTOROUTE SUR LE CERF DE VIRGINIE
AUTOROUTE ROBERT-CLICHE (73),
SAINT-JOSEPH-DE-BEAUCE
ET BEAUCEVILLE**

par

Maxime Lavoie^{1, 2, 3}
Sylvie Desjardins²
Benoit Langevin²
Serge Couturier¹
Jacques Bélanger³
François Hudon²
Claude Daigle¹
Sylvain St-Onge¹
Jacques Fortin³

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Ministère des Transports

Août 2010

*Ressources naturelles
et Faune*

Québec 

Transports

Québec 

Référence à citer :

LAVOIE, M., S. DESJARDINS, B. LONGEVIN, S. COUTURIER, J. BÉLANGER, F. HUDON, C. DAIGLE, S. ST-ONGE, ET J. FORTIN (2010). *Suivi des impacts du prolongement d'une autoroute sur le cerf de Virginie – Autoroute Robert-Cliche (73), Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville*, Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et ministère des Transports, 118 p.

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2012

ISBN : 978-2-550-63821-6 (version imprimée)

978-2-550-63822-3 (version PDF)

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années, l'impact des routes sur les populations animales a été largement documenté. Plusieurs études ont démontré que les effets négatifs des routes sont souvent plus importants que leurs avantages pour la faune. L'une des principales conséquences négatives est la mortalité directe engendrée par les accidents routiers, lesquels impliquent également des risques pour la sécurité humaine et des dommages matériels. Cette cause de mortalité peut être particulièrement importante pour plusieurs populations animales. L'une des espèces le plus souvent impliquée dans des accidents d'automobile est le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), le nombre de collisions étant directement relié à la densité de ses populations. Récemment, le prolongement d'une autoroute dans une région où les populations de cerfs de Virginie sont abondantes a été réalisé en traversant un ravage. Des mesures d'insertion environnementale du projet ont été mises en place afin de réduire l'impact de la route sur les cerfs et leur habitat et de diminuer les risques d'accidents routiers. Nous désirions déterminer dans quelle mesure les infrastructures aménagées étaient utilisées par les cerfs de Virginie, si elles étaient efficaces pour éviter les collisions routières et si les cerfs avaient modifié leur comportement à la suite de la construction de l'autoroute. Nos résultats suggèrent que les aménagements ont été efficaces. En effet, la nouvelle section de l'autoroute n'a pas influé significativement sur la fidélité des cerfs à leur habitat estival ou hivernal et n'a pas eu d'effet de barrière lors des migrations. Les sautoirs ont été efficaces pour faire sortir les cerfs de l'emprise clôturée. Par contre, l'aménagement de l'autoroute semble avoir eu des conséquences sur le comportement des cerfs qui se sont retrouvés davantage du côté ouest du ravage, ce qui pourrait éventuellement entraîner une détérioration de l'habitat. Enfin, les aménagements réalisés lors de la construction de l'autoroute ont été bénéfiques pour la sécurité routière. Le taux d'accidents impliquant des cerfs est bien inférieur à ce que l'on aurait pu s'attendre si des mesures d'atténuation n'avaient pas été mises en place. Cette étude a également permis d'émettre quelques recommandations qui devraient être considérées lors de l'élaboration de projets similaires.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	x
1. Introduction	1
2. Aire d'étude.....	4
2.1 Milieu biophysique	6
3. Description des infrastructures routières	9
3.1 Chronologie des travaux de construction de l'autoroute	9
3.2 Description générale de l'autoroute	10
3.3 Clôture à cervidés	11
3.4 Sautoirs.....	13
3.5 Structures de franchissement	16
3.5.1 Pont de la rivière Calway.....	16
3.5.2 Pont d'étagement de la route Calway.....	16
3.5.3 Ponts d'étagement du chemin de la Carrière.....	16
3.5.4 Ponts de la rivière des Plante.....	16
3.5.5 Passage à faune du ruisseau Doyon.....	17
3.6 Autres mesures d'atténuation	17
3.6.1 Panneaux de signalisation	17
3.6.2 Aménagement paysager	18
3.7 Ouverture de la route.....	18
4. Matériel et méthodes.....	19
4.1 Rigueur de l'hiver	19
4.2 Abondance de la population de cerfs.....	19
4.3 Utilisation des aménagements par les cerfs	20
4.3.1 Extrémité des clôtures.....	21
4.3.2 Clôtures de déviation	21
4.3.3 Structures de franchissement.....	21
4.3.4 Sautoirs.....	21
4.4 Inventaires aériens du ravage de cerfs.....	22
4.5 Radiotéléométrie	22
4.6 Capture de cerfs.....	23
4.7 Repérages terrestres.....	23
4.8 Repérages aériens	24

4.9	Estimation de la survie des cerfs	24
4.10	Accidents routiers.....	25
4.11	Analyses statistiques.....	26
4.11.1	Utilisation des aménagements par les cerfs	26
4.11.2	Distribution spatiale en hiver	27
4.11.3	Distribution spatiale en été	29
4.11.4	Mortalité	29
5.	Résultats.....	30
5.1	Contexte biophysique.....	30
5.1.1	Rigueur de l'hiver	30
5.1.2	Abondance de la population de cerfs	30
5.2	Captures.....	31
5.3	Infrastructures routières.....	31
5.3.1	Effet de bout.....	31
5.3.2	Sautoirs.....	32
5.3.3	Structures de franchissement.....	32
5.4	Écologie et comportement.....	33
5.4.1	Distribution spatiale en hiver à l'échelle de la population.....	33
5.4.2	Distribution spatiale en hiver à l'échelle de l'individu	34
5.4.3	Distribution spatiale en été à l'échelle de la population	35
5.5	Mortalité	37
5.5.1	Accidents routiers à l'échelle régionale	37
5.5.2	Mortalité dans le ravage de la rivière Calway	37
6.	Discussion	62
6.1	Quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures aménagées le long de celle-ci sur les patrons d'utilisation du ravage?	62
6.2	Quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur la proportion de cerfs résidents et de cerfs migrants dans le ravage?	65
6.3	Quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur le patron de migration?	66
6.4	Quelle est l'efficacité des aménagements relativement à la sécurité routière et quelle est leur utilisation par les cerfs?	66
6.5	Quels sont les effets de la présence de l'autoroute sur le taux de mortalité des cerfs?.....	69
	Conclusion	72
	Recommandations.....	74
	REMERCIEMENTS	75

LISTE DES RÉFÉRENCES	77
ANNEXE I	85
ANNEXE II	86
ANNEXE III	87
ANNEXE IV	88
ANNEXE V	89
ANNEXE VI	90
ANNEXE VII	91
ANNEXE VIII	92
ANNEXE IX	93
ANNEXE X	94
ANNEXE XI	95
ANNEXE XII	96
ANNEXE XIII	98
ANNEXE XIV	99
ANNEXE XV	101
ANNEXE XVI	103

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Âge et sexe des cerfs de Virginie capturés entre 2003 et 2008 dans le ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs qui ont été munis d'un collier radio-émetteur VHF est indiqué entre parenthèses.....	41
Tableau 2. Description du suivi télémétrique dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	42
Tableau 3. Nombre de cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur du ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec), dont un minimum de 25 localisations ont été récoltées en hiver, selon l'âge, le sexe et les années.	42
Tableau 4. Pourcentage de cerfs ayant fréquenté d'après des relevés de pistes la bordure de l'autoroute ou ayant traversé la nouvelle section de l'autoroute à l'extrémité nord de la zone clôturée dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	43
Tableau 5. Pourcentage de cerfs de Virginie, par période et par année, ayant fréquenté d'après des relevés de pistes la bordure de la nouvelle section de l'autoroute à l'extrémité nord de la zone clôturée dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	44
Tableau 6. Pourcentage de cerfs de Virginie, selon le comportement, l'année et la période, ayant fréquenté les sautoirs d'après des relevés de pistes dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	48
Tableau 7. Pourcentage de cerfs de Virginie ayant fréquenté d'après des relevés de pistes les différentes structures de franchissement et caractéristiques de celles-ci dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	48
Tableau 8. Pourcentage de cerfs de Virginie, par mois, ayant fréquenté d'après des relevés de pistes les différentes structures de franchissement dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	49
Tableau 9. Superficie moyenne, déterminée par inventaires aériens, et pourcentage de recouvrement du ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway par période entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).	50
Tableau 10. Pourcentage de cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF ayant leur domaine vital à l'est, à l'ouest ou des deux côtés de la nouvelle section de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway,	

par période, entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.....	50
Tableau 11. Moyenne de la superficie des domaines vitaux hivernaux, calculée à partir d'un MCP 95 %, par période et par année, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	51
Tableau 12. Moyenne de la superficie des domaines vitaux hivernaux, calculée à partir d'un MCP 95 % (<i>Minimum Convex Polygon</i>), en présence ou en l'absence de la route dans le domaine vital de l'animal, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2005 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	51
Tableau 13. Probabilités des effets aléatoires, fixes et de la covariable pour tous les tests de modèle linéaire général mixte (MLGM).	52
Tableau 14. Pourcentage de recouvrement entre les domaines vitaux hivernaux, calculé à partir d'un MCP 95 % (<i>Minimum Convex Polygon</i>), par période, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).	53
Tableau 15. Superficie des aires de distribution estivales, calculée à partir d'un MCP 95 % (<i>Minimum Convex Polygon</i>), et pourcentage de recouvrement, par période (relativement à la construction de la route) et par année, des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	53
Tableau 16. Pourcentage des cerfs de Virginie résidents, intermédiaires et migrants, par période, pour les cerfs porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	54
Tableau 17. Pourcentage des cerfs de Virginie selon l'âge et le sexe, par période, pour les cerfs porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	54
Tableau 18. Distance moyenne de migration pour les domaines vitaux estivaux, selon la période et l'année, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).	55
Tableau 19. Distance entre les localisations d'été, par période, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	55
Tableau 20. Nombre d'accidents routiers rapportés impliquant des cerfs de Virginie dans des sections de routes situées dans ou à moins de 500 m des limites de quatre ravages de la région de Chaudière-Appalaches (de	

2005 à 2007) et dans le prolongement de l'autoroute 73 dans le ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) au cours des deux premières années d'exploitation. Source : Le Diagnostic de sécurité routière.....	56
Tableau 21. Nombre d'accidents routiers impliquant des cerfs de Virginie selon le Diagnostic de sécurité routière (DSR) dans des sections de quatre routes de la région de Chaudière-Appalaches (de 2005 à 2007) et dans le prolongement de l'autoroute 73 dans le ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) au cours des deux premières années d'exploitation.....	57
Tableau 22. Taux de mortalité moyen, par période, causé par la chasse et le braconnage ou par la somme des autres causes, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	58
Tableau 23. Taux de mortalité annuels selon les différentes causes de mortalité, par période, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	59
Tableau 24. Taux de mortalité annuels selon le statut et les différentes causes de mortalités pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	59
Tableau 25. Taux de mortalité selon l'année et le sexe des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	60
Tableau 26. Taux de mortalité annuels selon les différentes causes de mortalité, l'âge et le sexe des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	60
Tableau 27. Taux de mortalité causé par la chasse des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF selon l'âge et le sexe dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.	61

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation du ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	5
Figure 2. Description des infrastructures reliées au ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway dans le secteur du prolongement de l'autoroute Robert-Cliche (73) en 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	7
Figure 3. Évolution du ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) entre 1982 et 1998 (Hébert, 2003).....	8
Figure 4. Localisation des trente sautoirs dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Les sautoirs 25 et 26 sont localisés sous les ponts de la rivière des Plante. Étant donné que les numéros de sautoirs impairs sont du côté ouest et qu'il y a plus de sautoirs du côté est, il n'y a pas de sautoirs 29 et 31.....	15
Figure 5. Enfouissement dans la neige selon l'indice NIVA (nombre de jours*cm) dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) entre 2003 et 2009 ainsi que le NIVA moyen pour le Québec (ligne pleine) et la zone 3 Ouest (ligne pointillée) entre 1977 et 2008.	39
Figure 6. Nombre de cerfs mâles adultes récoltés par la chasse sportive dans la zone 3 au Québec entre 1984 et 2008 ainsi que pour la période d'étude (zone hachurée).....	40
Figure 7. Nombre de cerfs en fonction du nombre d'années de suivi dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	41
Figure 8. Pourcentage de cerfs de Virginie ($n = 45$) ayant traversé d'après des relevés de pistes la nouvelle section de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) entre 2006 et 2009, en fonction de la distance par rapport à l'extrémité nord des clôtures. Toutes ces traversées ont eu lieu en 2006 et 2007, en l'absence de circulation automobile.	45
Figure 9. Pourcentage de cerfs de Virginie ($n = 67$) ayant longé d'après des relevés de pistes les clôtures de déviation durant la période de confinement (de janvier à mars), la migration printanière (avril et mai), la période estivale (de juin à octobre) et la migration automnale (novembre et décembre) dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).	46
Figure 10. Pourcentage de cerfs de Virginie ($n = 65$) selon leur comportement près des sautoirs d'après des relevés de pistes durant la période de confinement (de janvier à mars), la migration printanière (avril et mai), la période estivale (de juin à octobre) et la migration automnale (novembre et décembre) dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).....	47
Figure 11. Importance relative (pourcentage) des différentes causes de mortalité des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF ($n = 66$) dans le	

ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).	58
--	----

1. Introduction

Depuis plusieurs années, les biologistes étudient l'impact des routes sur les populations animales (McLellan et Shackleton, 1988; Lovallo et Anderson, 1996; Forman et Deblinger, 2000; Dodd *et al.*, 2007; Laurian *et al.*, 2008). Les recherches ont montré que les routes peuvent avoir un effet positif sur les populations animales en favorisant la présence de certaines espèces végétales consommées par les herbivores en bordure des routes (Carbaugh *et al.*, 1975), en fournissant des carcasses aux charognards (Drews, 1995), en créant des corridors de déplacement (Downes *et al.*, 1997), en diminuant le harcèlement des insectes chassés par l'augmentation du vent (Pollard *et al.*, 1996) ou en augmentant la concentration en sodium des sols et des plantes qui bordent la route dans les régions nordiques où sont répandus des sels de déglacage (Leblond *et al.*, 2007). Néanmoins, les conséquences négatives des routes pour les animaux sont souvent plus importantes que les effets bénéfiques. Les principales conséquences sont la perte directe de l'habitat et sa fragmentation (Mansergh et Scotts, 1989), une plus grande interaction avec les humains (Cole *et al.*, 1997), la présence d'une barrière physique (Vos et Chardon, 1998), le dérangement par le bruit (Forman et Alexander, 1998), la dégradation de l'habitat (Spellerberg, 1998) ainsi que la mortalité causée par les collisions avec les véhicules (Clevenger et Waltho, 2000; Cain *et al.*, 2003). Cette dernière peut être particulièrement importante pour plusieurs populations animales. Par exemple, on évalue à seulement 2 % la proportion de tortues (*Apalone ferox*, *Kinosternon subrubrum*, *Pseudemys floridana* et *Trachemys scripta*) qui réussit à traverser une autoroute en Floride (Aresco, 2005) et les accidents routiers élimineraient chaque année plus de 40 % de la population estimée de blaireau européen (*Meles meles*) en Angleterre (Clarke *et al.*, 1998). Les routes sont également considérées comme la principale cause de mortalité chez plusieurs populations de lynx roux (*Lynx rufus*) aux États-Unis (Nielsen et Woolf, 2002, Blankenship *et al.*, 2006), de cougars (*Puma concolor*) en Floride (Foster et Humphrey, 1995), de lynx pardelle (*Lynx pardina*) en Espagne (Ferrerias *et al.*, 1992), d'ocelots (*Leopardus pardalis*) au Texas (Haines *et al.*, 2005) et de loups (*Canis lupus*) au Minnesota (Mech, 1989).

Parmi toutes les espèces animales, les ongulés causent probablement les accidents routiers les plus graves. En effet, étant donné la grande taille de ces animaux, les accidents dans lesquels ils sont impliqués engendrent souvent des dommages matériels sérieux et parfois la mort des automobilistes (Finder *et al.*, 1999). Chaque année

en Europe, les accidents routiers avec les cervidés font 300 morts, 30 000 blessés et coûtent environ un milliard \$ US (Groot-Bruinderink et Hazebroek, 1996) tandis qu'aux États-Unis, ils causent la mort de 211 personnes, en blessent 29 000 (Conover *et al.*, 1995) et coûtent également plus d'un milliard \$ US (Cornover, 1997). Au Canada, l'un des ongulés le plus souvent impliqué dans des accidents d'automobile est le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) (Clevenger *et al.*, 2001; Ng *et al.*, 2008) et le nombre de collisions avec celui-ci est directement relié à la densité de ses populations (McCaffery, 1973). Le phénomène a pu être observé ces dernières années en Ontario où les accidents routiers avec les cerfs ont plus que quadruplé en sept ans tandis que le volume de trafic est resté pratiquement constant (Widenmaier et Fahrig, 2006). Pour sa part, la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) rapporte plus de 6 000 collisions entre des véhicules et des animaux causant des dommages corporels ou matériels (SAAQ, 2009). La majorité des collisions a lieu dans le sud du Québec avec des cerfs de Virginie.

Les risques de mortalité dans les populations de cerfs (Moen, 1976; Potvin *et al.*, 1981) sont particulièrement élevés durant l'hiver alors que les cerfs se concentrent dans des aires de confinement appelées ravages (Hurst et Porter, 2008). Ces habitats sont caractérisés par des concentrations de peuplements résineux ou mélangés, entremêlés de jeunes peuplements feuillus (Germain *et al.*, 1991; Morrison *et al.*, 2003; Jenkins *et al.*, 2007). Les cerfs profitent de l'abri offert par les conifères tout en ayant accès à de la nourriture à proximité. Finalement, les réseaux de sentiers entretenus par les cerfs augmentent leur succès de fuite en présence de prédateurs (Nelson et Mech, 1981; Messier et Barrette, 1985; Nelson, 1998).

Le prolongement de l'autoroute Robert-Cliche (73) dans le sud du Québec a été réalisé en traversant un ravage de cerfs de Virginie. La construction de cette autoroute posait déjà un défi, car elle devait traverser une région où les populations de cerfs sont abondantes (Desjardins *et al.*, 2002). De plus, compte tenu de la présence du ravage, la densité de cerfs dans ce secteur augmente de 66 % en hiver (Leblanc *et al.*, 2007), multipliant ainsi la probabilité de collisions routières avec des animaux pendant cette saison et au moment des migrations. Des mesures d'insertion environnementale du projet ont donc été mises en place afin de réduire l'impact de la route sur les cerfs et de diminuer les risques d'accident.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées afin de réduire le nombre d'accidents. Les méthodes visant à modifier le comportement des automobilistes et à augmenter leur vigilance telles que les panneaux de signalisation (Putman, 1997), la réduction de la vitesse (Romin et Bissonette, 1996), l'installation de feux clignotants (Reed et Woodard, 1981), l'installation de « dos d'âne » pour réduire la vitesse (Drews, 1995) ou les campagnes de sensibilisation (Romin et Bissonette, 1996) ne diminuent généralement pas le nombre de collisions (Lehnert et Bissonette, 1997; Sullivan et Messmer, 2003). L'installation de clôtures, conjointement avec la construction de passages à faune, est l'une des méthodes les plus efficaces pour modifier le comportement animal et diminuer les risques d'accident (Feldhammer *et al.*, 1986; Clevenger *et al.*, 2001; Ng *et al.*, 2004). C'est cette dernière méthode qui a récemment été utilisée au Québec dans la réserve faunique des Laurentides pour réduire les risques d'accidents impliquant l'orignal (*Alces alces*).

Afin de minimiser la probabilité de collisions automobiles et de diminuer l'impact de la nouvelle section de l'autoroute 73 pour les cerfs du ravage de la rivière Calway, le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a mis en place un certain nombre de mesures préventives. Sur le prolongement d'environ 10 km, une clôture à cervidés d'un peu plus de 6 km a été érigée de part et d'autre de l'emprise dans le secteur le plus à risque. De plus, une trentaine de rampes de fuite, ou sautoirs, ont été construites afin de permettre aux cerfs de sortir de l'emprise clôturée. Un passage inférieur à faune a été créé en plus de quatre ponts ou ponts d'égagement permettant la traversée sécuritaire du corridor autoroutier par les cerfs et les autres animaux. Bien que plusieurs études aient démontré que les cerfs de Virginie utilisaient les passages à faune (Clevenger et Waltho, 2005; Braden *et al.*, 2008; Parker *et al.*, 2008), leur efficacité réelle n'est pas confirmée, car très peu d'analyses ont incorporé la période pré-construction (Corlatti *et al.*, 2009; Glista *et al.*, 2009). L'évaluation de l'efficacité de ces aménagements est d'autant plus importante qu'ils sont parmi les plus dispendieux à mettre en place (Putman, 1997).

L'objectif de la présente étude était de déterminer, grâce à un suivi intégrant les périodes précédant et suivant la construction, si les infrastructures aménagées étaient utilisées par les cerfs de Virginie et si elles étaient efficaces pour diminuer les collisions routières. Un second volet de l'étude visait à vérifier si le comportement des cerfs dans leur ravage avait été modifié à la suite de la construction de l'autoroute et s'ils utilisaient les extrémités des clôtures pour franchir l'autoroute ou entrer à l'intérieur de l'emprise.

Cinq questions ont été analysées : (1) quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures aménagées le long de celle-ci sur les patrons d'utilisation du ravage?; (2) quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur la proportion de cerfs résidents et de cerfs migrants dans le ravage?; (3) quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur le patron de migration?; (4) quels sont l'efficacité et le degré d'utilisation des aménagements par les cerfs? et finalement (5) quels sont les effets de la présence de l'autoroute sur la mortalité des cerfs?

2. Aire d'étude

L'étude s'est déroulée dans la municipalité régionale de comté Robert-Cliche située dans la région administrative de la Chaudière-Appalaches à environ 90 km au sud de la ville de Québec et à 100 km au nord de la frontière avec l'État du Maine (Figure 1). Le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway est situé dans les municipalités de Beauceville et de Saint-Joseph-de-Beauce. L'ensemble du ravage est constitué de terres privées de petites superficies ($\bar{x} = 0,09 \text{ km}^2$) et se situe à l'est de la route 173 qui borde la rivière Chaudière dans ce secteur.

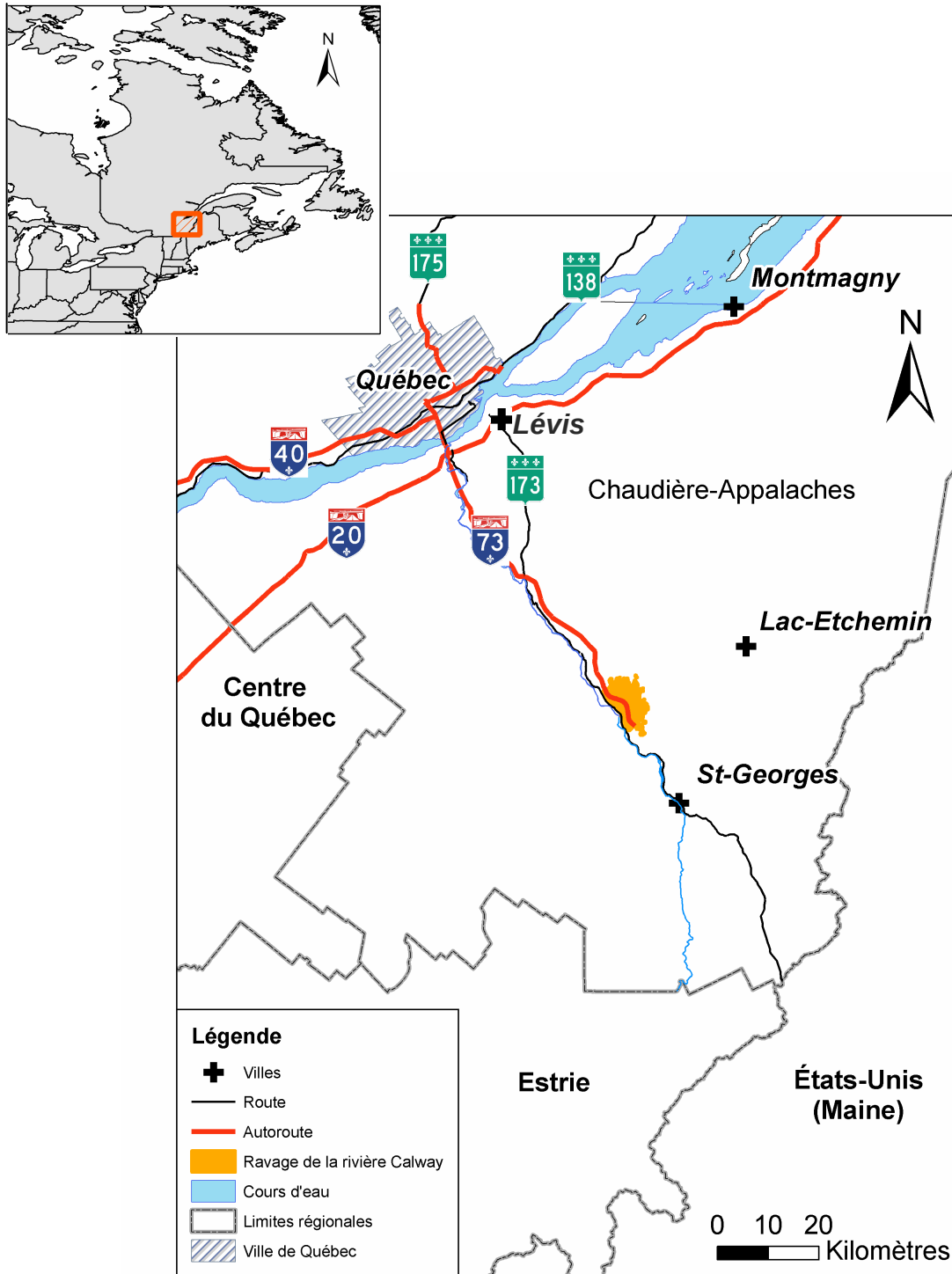


Figure 1. Localisation du ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

2.1 Milieu biophysique

Deux principaux cours d'eau traversent le ravage et se jettent dans la rivière Chaudière, soit la rivière Calway et la rivière des Plante (Figure 2). Le paysage est principalement constitué de forêts avec quelques terres agricoles. Dans le secteur de l'étude, la forêt fait partie du domaine de l'érablière à bouleau jaune. Des 14 km² de terrains forestiers compris dans l'aire de confinement, 36 % des peuplements sont jeunes, 33 %, à un stade mature, et 31 %, en régénération. Le couvert forestier est composé de 69 % de forêts mixtes, 14 % de résineuses, 14 % de feuillues et 3 % de terrains dénudés et en friche (Hébert, 2003). Les principales essences d'arbres sont l'érable à sucre (*Acer saccharum*), l'érable rouge (*Acer rubrum*), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*), le sapin baumier (*Abies balsamea*), l'épinette blanche (*Picea glauca*), l'épinette rouge (*Picea rubens*) et le pin blanc (*Pinus strobus*). L'exploitation forestière se pratique activement dans le territoire. Environ 55 % des propriétaires possèdent le statut de producteur forestier, 70 % récoltent du bois et 12 % s'adonnent à des activités agricoles (Tecsult Environnement Inc., 2000). La température moyenne est de 18 °C en été et de -12 °C en hiver, la moyenne des précipitations est de 1000 mm par année, dont environ 25 % sous forme de neige, et la période de risque de gel est d'environ 245 jours (Tecsult Environnement Inc., 2000).

Le ravage de la rivière Calway a été observé pour la première fois en 1989. Il occupait alors une superficie de 2,1 km² qui n'a jamais cessé de croître (Hébert, 2003). Celle-ci a été estimée à 2,7 km² en 1990, 6,3 km² en 1992, 15,1 km² en 1996 et 28 km² en 1998. Le cœur du ravage de 1998 avait une superficie de 19,7 km² (Figure 3). Son expansion coïncide avec l'augmentation de la densité des cerfs au Québec dans les mêmes années (Boucher *et al.*, 2003). La population de cerfs fréquentant le ravage a été évaluée à environ 300 individus en 2002 (Tecsult Environnement Inc., 2002). Les autres espèces de grands mammifères présentes dans la zone d'étude sont l'orignal (*Alces alces*), l'ours noir (*Ursus americanus*) et le coyote (*Canis latrans*), ces deux dernières espèces étant des prédateurs reconnus du cerf de Virginie dans la région.

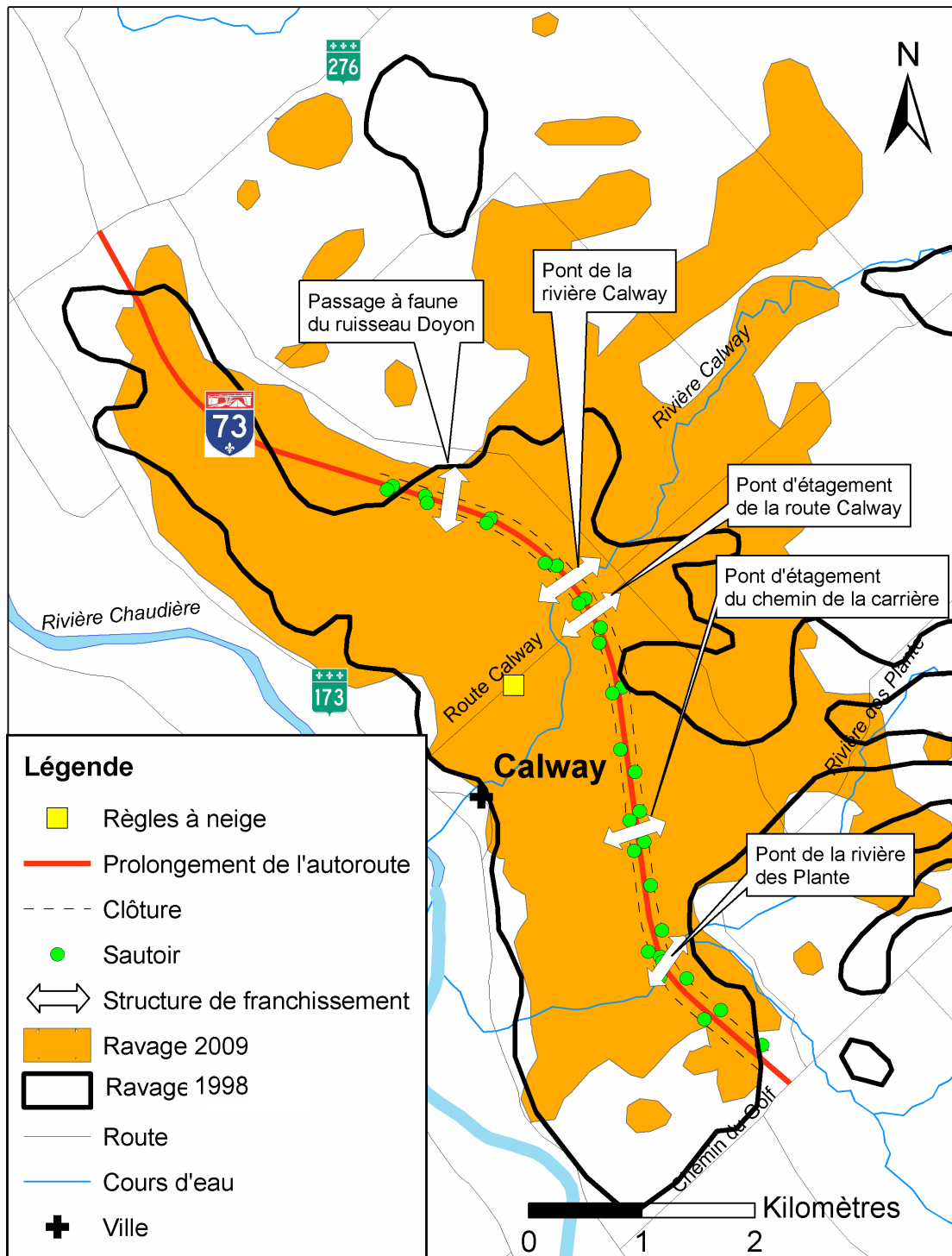


Figure 2. Description des infrastructures liées au ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway dans le secteur du prolongement de l'autoroute Robert-Cliche (73) en 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

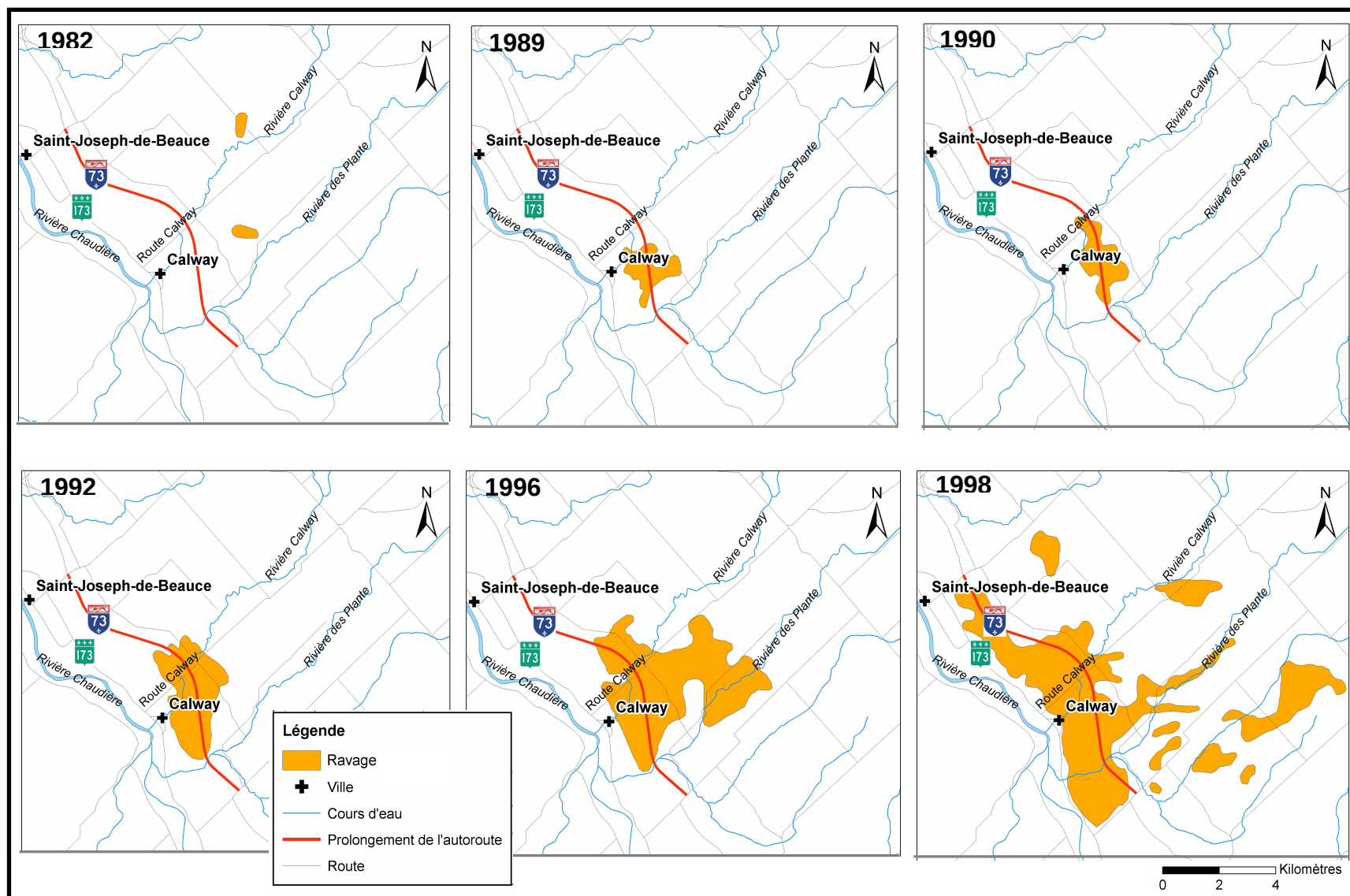


Figure 3. Évolution du ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) entre 1982 et 1998 (Hébert, 2003).

3. Description des infrastructures routières

Le ravin de la rivière Calway est traversé par plusieurs chemins forestiers et sentiers de motoneiges ainsi que par une ligne de transport électrique. Depuis novembre 2007, l'autoroute Robert-Cliche traverse ce ravin sur toute sa longueur. La construction de cette autoroute, destinée à relier la ville de Saint-Georges à la ville de Québec distante d'environ 100 km, a commencé en 1973. En 1992, l'autoroute, qui s'étendait sur une distance de 62 km, se terminait à Saint-Joseph-de-Beauce. En 2004, les travaux ont repris afin d'ajouter une nouvelle section de 10,4 km entre Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville. La construction de cette nouvelle section d'autoroute, au sein même du ravin, s'est déroulée entre 2004 et 2007. Les travaux n'ont été permis que durant la période estivale, à l'exception de l'hiver 2006-2007, afin de diminuer le dérangement pour les cerfs fréquentant le ravin.

3.1 Chronologie des travaux de construction de l'autoroute

Une évaluation environnementale du projet de prolongement autoroutier a été réalisée entre 1998 et 2002. Au cours des hivers 1999 à 2002, plusieurs relevés de pistes de cerfs ont été faits à l'emplacement de la route projetée. Ces relevés, jumelés aux données récoltées durant les deux premières années de la présente étude, ont servi à identifier les axes de déplacement des cerfs afin d'optimiser la localisation des différents aménagements. Ce travail a permis de choisir les sites les plus appropriés pour l'implantation de passages à faune. Quatre sites, nécessitant déjà des structures (ponts ou ponts d'étagement) compte tenu de la présence de rivières ou de routes, ont été aménagés à cette fin. Un cinquième site, le ruisseau Doyon, a été sélectionné pour recevoir un passage spécialement conçu pour la faune. À cet endroit, on a remplacé le ponceau projeté par une structure comportant une plus grande ouverture.

La construction de la nouvelle section de la route s'amorce par le nord au cours de l'été 2004. L'emprise de l'autoroute est déboisée sur une distance d'environ six kilomètres et les travaux de terrassement sont réalisés jusqu'à la rivière Calway. Au cours de l'été suivant, on termine la chaussée et le passage à faune du ruisseau Doyon est construit. La clôture à cervidés et huit sautoirs sont également installés sur une distance d'environ deux kilomètres au nord de la rivière Calway.

En 2005 également, une seconde phase de travaux commence. Les terrassements se font sur une distance d'un kilomètre au sud de la première phase et on entreprend la construction du pont de la rivière Calway qui sera menée à terme en 2006. Pendant l'été 2006, l'emprise est déboisée et les chaussées sont terminées jusqu'au nord de la rivière des Plante. Les clôtures sont aussi installées sur l'ensemble de cette section d'un peu plus de trois kilomètres de longueur ainsi que 13 sautoirs.

Toujours en 2006, la construction des deux derniers kilomètres de route du côté sud et des ponts au-dessus de la rivière des Plante débute. Au cours de l'hiver 2006-2007, la construction des ponts se poursuit et des opérations de forage et de dynamitage sont réalisées pour construire la chaussée en bordure sud du ravage. Enfin, en 2007, tous les travaux sont terminés, la clôture à cervidés est prolongée sur 1,5 km jusqu'à l'extrémité sud du ravage et neuf nouveaux sautoirs sont aménagés.

L'autoroute est ouverte à la circulation en novembre 2007.

3.2 Description générale de l'autoroute

La vitesse permise sur l'autoroute est de 100 km/h. Des comptages faits en 2008 ont permis d'estimer le débit journalier moyen annuel (DJMA) à 6 000 véhicules dans la nouvelle section de l'autoroute (MTQ, données non publiées). Les gestionnaires du réseau routier prévoient que ce débit s'accroîtra d'un pour cent par année et qu'une augmentation de l'ordre de 1 000 véhicules sera observée lorsque le tronçon allant jusqu'à la ville de Saint-Georges sera complété.

Pour les premiers six kilomètres au nord de la nouvelle section de l'autoroute, une seule chaussée à deux voies contiguës a été construite. Cette chaussée a une largeur de 7,4 m et elle est pourvue de chaque côté d'accotements de trois mètres (Annexe I). Au-delà de l'accotement, un talus en pente douce (6H : 1V, soit une unité verticale pour six unités horizontales) et un fossé sont aménagés. La clôture à cervidés est installée de l'autre côté du fossé.

Pour les 4,4 km au sud de la nouvelle section, la route a été construite dans sa forme finale, soit deux chaussées séparées et quatre voies. Les chaussées sont séparées par un terre-plein de 20 m qui inclut un fossé (Annexe II). La clôture à cervidés est installée au-delà du fossé qui borde les chaussées du côté extérieur.

La clôture à cervidés se trouve généralement à une quinzaine de mètres de la chaussée. Pour son installation, une largeur de quatre mètres est déboisée au-delà du fossé. Sur toute cette largeur, le terrain est essouché et nivelé pour éviter les trous sous la clôture. La clôture est installée à trois mètres du haut de talus du fossé. De l'autre côté de la clôture, les arbres sont coupés à ras de terre sur une largeur supplémentaire de deux mètres. Dans cette dernière bande, les souches et les sols de surface sont laissés en place afin de protéger les racines des arbres du boisé conservé et de favoriser la reprise d'une végétation arbustive.

La largeur minimale de l'emprise routière est de 105 m. Le déboisement a toutefois été limité aux surfaces requises pour les terrassements et les clôtures. Ainsi, dans la partie nord du projet, la largeur déboisée pour la chaussée unique varie généralement autour de 50 m alors qu'au sud elle peut être de 90 à 105 m. Toutefois, l'emprise peut être plus large là où une voie de desserte est nécessaire et là où les terrassements l'exigent. En certains endroits, la route se trouve au-dessus du niveau du terrain naturel. Selon la hauteur du remblai, la pente des talus sera plus ou moins inclinée. Lorsque le remblai dépasse les deux mètres de hauteur, la pente atteint 2H : 1V et une glissière de sécurité est ajoutée en bordure de l'accotement. En d'autres endroits, le niveau de la route se trouve sous le niveau du terrain naturel. Si le déblai est creusé dans des matériaux meubles, la pente est également de 2H : 1V. Si, par contre, le déblai est excavé dans le roc, la pente est plus près de la verticale soit 2H : 5V. Suivant l'ampleur de ces terrassements ou la présence d'un chemin de desserte, l'emprise routière atteint une largeur maximale de 120 m.

La route étant située dans le ravage de la rivière Calway, le risque d'accidents routiers occasionné par les cerfs de Virginie est important. Diverses infrastructures ont donc été mises en place afin de réduire les risques de collisions avec les cerfs (Figure 4).

3.3 Clôture à cervidés

La clôture à cervidés a été installée sur environ 6,5 km de longueur de chaque côté de l'autoroute entre Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville. Cette clôture, d'une hauteur de 2,4 m, a une maille variable dont la taille maximale atteint 15 cm sur 30 (Annexe III). Les mailles plus étroites au bas de la clôture empêchent les faons de se coincer la tête. Comparativement aux autres clôtures normalisées, cette clôture à cervidés comporte deux caractéristiques importantes favorisant sa solidité. En plus d'un fil de tension en acier en haut

de la dernière maille, des poteaux coulés dans le béton ont été installés tous les trois mètres. Lors de la construction, la hauteur entre la clôture et le sol était d'au maximum 100 mm pour éviter que les cerfs ne passent sous celle-ci et entrent dans l'emprise clôturée.

La clôture à cervidés a été installée sur un tracé le plus rectiligne possible, en adoucissant les angles inévitables. Il faut éviter les angles prononcés, car les cerfs peuvent essayer de s'y précipiter pour sortir de l'emprise. Pendant la construction, un groupe de cerfs a réussi à pénétrer dans l'emprise clôturée. On a alors remarqué que plusieurs cerfs se lançaient dans les angles de la clôture, comme s'ils n'arrivaient pas à la voir. Afin de régler ce problème, la clôture à cervidés a été doublée avec de la clôture à neige sur une longueur d'environ 12 m, de part et d'autre des angles près de certains sautoirs. Cette modification permet aux cerfs de mieux distinguer la clôture et de se diriger plus facilement vers les sautoirs. Le tracé de la clôture a ensuite été revu pour diminuer l'importance des angles. Notons qu'en hiver les sections doublées entraînent une accumulation de neige plus importante. Ceci peut réduire l'efficacité de la clôture en diminuant sa hauteur, c'est pourquoi d'autres solutions devraient être envisagées.

La clôture se termine le plus près possible des structures (ponts) afin d'empêcher les cerfs de s'y faufiler. Elle est munie de quatre portes, localisées près des ponts ou des ponts d'étagement, chacune pouvant à la fois servir à faire sortir un cerf qui aurait pénétré dans l'emprise clôturée et à faciliter le passage des travailleurs venus réparer ou inspecter les structures. À l'extrémité sud de l'emprise clôturée, la clôture du côté est vient se fermer immédiatement derrière la glissière de sécurité tandis que celle du côté ouest se termine dans l'empierrement de drainage du talus de déblai. Cet empierrement couvre une largeur de cinq mètres sur toute la hauteur du talus et a un calibre de 300 à 500 mm. Il est généralement admis que les cerfs évitent de se déplacer sur les pierres angulaires de taille importante (Leblanc, Y., comm. pers.).

Deux clôtures de déviation ont également été installées à l'extrémité nord de l'emprise clôturée afin de limiter le passage des cerfs sur la route immédiatement après la fin des clôtures. Celle du côté ouest est à angle aigu par rapport à la clôture à cervidés et a une longueur d'environ 185 m en dehors des limites de l'emprise routière (Annexe IV). Cette longue clôture a pu être installée grâce à la conformation des terres privées et nécessiterait des conditions particulières pour être intégrée à d'éventuels projets. La clôture de déviation du côté est a été aménagée dans la moitié de l'emprise correspondant à la future deuxième

chaussée. Sa longueur est plus modeste, soit 45 m, et elle a été installée à angle droit par rapport à la clôture à cervidés pour suivre le contour des peuplements forestiers.

3.4 Sautoirs

Lors de la conception des clôtures à cervidés, il faut prévoir la possibilité que des animaux s'introduisent malencontreusement dans l'emprise clôturée par les extrémités de la clôture ou en profitant d'un espace dans une clôture endommagée. C'est la raison pour laquelle des rampes de fuites, ou sautoirs, conçues pour permettre aux animaux de retourner vers la forêt sans toutefois faciliter leur intrusion dans l'emprise, ont été installées. Les sautoirs ont été préférés aux « portes à sens unique », car ils ont l'avantage d'offrir une ouverture ou une voie de fuite complètement libre d'obstacle visuel, contrairement aux portes dont les tiges horizontales créent un semblant de mur. De plus, le succès d'utilisation des portes par les cerfs a été évalué entre 17 et 50 % alors que celui des sautoirs est considéré comme étant de huit à dix fois plus efficace (Bissonette et Hammer, 2000).

Trente sautoirs ont été installés dans l'emprise clôturée. Comme le recommande J. Bissonette (cité dans Tecsalt Environnement Inc., 2003), on a veillé à ce que la distance entre chaque sautoir soit d'au plus 800 m. Des sautoirs ont également été placés le plus près possible, entre 50 et 100 m environ, des extrémités de la clôture. D'autres ont été aménagés aux approches de chacune des structures de franchissement. Dans la mesure du possible, les sautoirs ont été localisés dans des endroits propices à la sortie des cerfs (trouées dans la végétation ou endroit plus bas que le niveau de la route; Lingle, 2002).

Les huit premiers sautoirs ont été construits pendant l'été 2005. Ils avaient cinq mètres de largeur et leur hauteur dépassait 1,8 m. Les pentes des sautoirs du côté de la chaussée étaient prononcées et la clôture médiane, d'une hauteur de 60 cm, était basse. Au moment des travaux, diverses situations ont été constatées : les cerfs hésitaient à sauter pour retourner en forêt, certains sautaient la clôture médiane et demeuraient dans l'emprise, d'autres tentaient de se faufiler entre la clôture et le muret, etc. Des améliorations ont donc été apportées aux huit sautoirs existants et prises en compte dans la conception des sautoirs qui restaient à construire.

– L'extrémité de la clôture a été modifiée pour empêcher les cerfs d'utiliser « l'escalier » formé par les blocs de la tête du muret.

- Une trappe de sable de 2 m sur 5 et de 20 cm de profondeur a été ajoutée à la base du muret pour amortir le saut des cerfs qui veulent sortir de l'emprise.

- La hauteur du sautoir a été abaissée à 1,5 m.

- La clôture médiane sur le plateau du sautoir a été surélevée à 1,2 m.

- Les pentes latérales du sautoir ont été adoucies à 5H : 1V.

- Les angles formés par la clôture près des sautoirs ont été doublés de clôtures à neige pour permettre aux cerfs de mieux les voir (Annexe V).

Les sautoirs construits après le printemps 2006 l'ont été selon un nouveau modèle. Les pentes latérales ont été adoucies à 6H : 1V, la pente centrale a été rallongée à 5,5 m et la clôture centrale à 7,5 m (Annexe VI a et b). Il a également été décidé de localiser les sautoirs plus bas que le niveau de la route lorsque c'était possible, pour faciliter leur utilisation, les cerfs ayant tendance à fuir vers le bas. Enfin, on a planté quelques tiges d'arbres ou d'arbustes sur chaque sautoir.

Au cours de l'hiver 2007-2008, qui fut particulièrement rigoureux, l'accumulation de neige a été si importante que des cerfs franchissaient les sautoirs en sens inverse. Afin de les empêcher d'entrer dans l'emprise clôturée par les sautoirs, des filets semi-perméables ont été installés pendant quelques semaines. Ces filets, faits de mailles de 4,4 cm étirées, mesurent 6,1 m sur 1,5 et possèdent un cadre d'une largeur de 1 cm. Un anneau aux deux coins supérieurs du filet permet de l'attacher au sommet des sautoirs jugés à risques afin de bloquer l'accès de l'extérieur. Par contre, comme le filet n'est pas attaché à la base, un cerf voulant sortir de l'emprise clôturée peut le pousser avant de sauter.

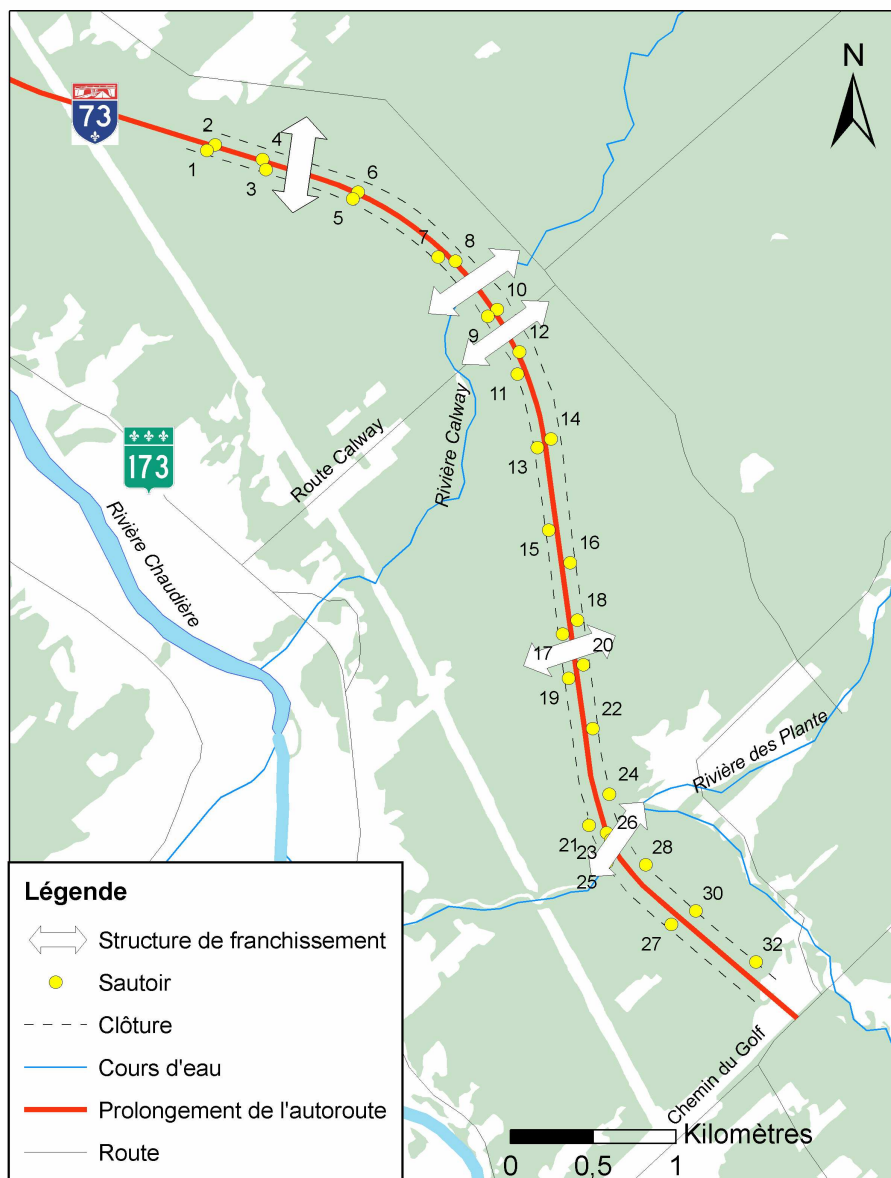


Figure 4. Localisation des trente sautoirs dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Les sautoirs 25 et 26 sont localisés sous les ponts de la rivière des Plante. Étant donné que les numéros de sautoirs impairs sont du côté ouest et qu'il y a plus de sautoirs du côté est, il n'y a pas de sautoirs 29 et 31.

3.5 Structures de franchissement

Lors de la construction de ce nouveau tronçon routier, cinq structures (ponts ou ponts d'étagement) ont été construites, fournissant autant de passages aux cerfs pour leur permettre de franchir la route en toute sécurité.

3.5.1 Pont de la rivière Calway

L'ouverture sous le pont de la rivière Calway a une largeur de 120 m, répartie en trois travées de 35 à 50 m chacune, et une hauteur de 10,9 m pour une longueur de 14,3 m (soit la largeur du tablier du pont). Le ratio d'ouverture du passage est donc de plus de 50 : 1 (Annexe VII). La rivière Calway, qui coule entre les piles nord et sud, a une largeur d'environ 15 m en régime normal d'écoulement. La forme du terrain ainsi que les pentes des talus ont été adoucies afin d'améliorer la fréquentation par les cerfs. Les empièvements ont également été recouverts et végétalisés dans le but de permettre le passage des cerfs, un passage qui est également fréquenté à l'occasion par des tracteurs transportant du bois.

3.5.2 Pont d'étagement de la route Calway

Le passage sous le pont d'étagement de la route Calway a une largeur de 27 m, une hauteur de 5,5 m et une longueur de 14,3 m (Annexe VIII). Son ratio d'ouverture est donc d'environ 10 : 1. La route Calway, d'une largeur de 8 m, de même qu'un sentier de véhicules hors route de 6 m de largeur passent sous ce pont. Ce passage est donc utilisé par des véhicules tout-terrain (VTT), des motoneiges, des automobiles et des camions.

3.5.3 Ponts d'étagement du chemin de la Carrière

Le passage sous le pont d'étagement du chemin de la Carrière est composé de deux ponts distants d'environ 20 m (Annexe IX). Dans les deux cas, l'ouverture a une largeur de 18 m, une hauteur de 7 m et une longueur de 12,6 m. Leur ratio d'ouverture est donc d'environ 10 : 1. Le chemin de la Carrière est un chemin privé principalement utilisé par les camions.

3.5.4 Ponts de la rivière des Plante

Le passage sous le pont de la rivière des Plante est composé de deux ponts distants d'environ 20 m (Annexe X). Sous chaque pont, la largeur de l'ouverture est de 177 m, répartie en quatre travées de 32 à 55 m chacune. La hauteur atteint 14 m et la longueur à

franchir est de 12,6 m. Leur ratio d'ouverture est donc d'environ 200 : 1. La rivière des Plante, d'une largeur d'environ 10 m en régime normal d'écoulement, défile entre les piles centrale et sud. Quatre ponceaux ont été aménagés afin de faciliter le passage des cerfs de part et d'autre des profonds fossés protégés par empierrement. La forme du terrain ainsi que les pentes des talus ont également été adoucies afin d'améliorer la fréquentation par les cerfs.

3.5.5 Passage à faune du ruisseau Doyon

Le passage à faune du ruisseau Doyon a une largeur de 10 m, une hauteur de 5,5 m et une longueur de 14,3 m (Annexe XI). Son ratio d'ouverture est donc d'environ 4 : 1. Le ruisseau Doyon, d'une largeur d'environ deux mètres en étiage, coule sous ce passage à faune qui constitue la structure la plus près de l'extrémité nord du ravage. Cette structure, recommandée dans le but de faciliter la traversée des cerfs à l'extrémité de la zone clôturée, remplace un ponceau de trois mètres de largeur.

3.6 Autres mesures d'atténuation

En plus des clôtures, des sautoirs et des passages, des mesures complémentaires ont été appliquées afin de réduire la probabilité de collisions. Des panneaux de signalisation ont été installés afin de prévenir les automobilistes de la présence de cerfs et des aménagements paysagers ont été réalisés pour accroître l'efficacité des structures.

3.6.1 Panneaux de signalisation

Une signalisation particulière a été installée à l'extrémité nord des clôtures à cervidés. Des déplacements de cerfs ont été observés à cet endroit, notamment lors de coupes forestières par les propriétaires riverains et, par conséquent, un « effet de bout » pouvant augmenter le risque de collisions était appréhendé. Deux panneaux munis de clignotants, signalant un risque élevé de rencontrer des cerfs de Virginie sur deux kilomètres, ont été disposés dans chaque direction à environ un kilomètre de l'extrémité de la zone clôturée. Ces panneaux mesurent 2 m de largeur sur 1,83 m de hauteur. Ils sont installés au sol sur des structures monotubulaires et leur lettrage noir fixé sur une pellicule jaune est conforme aux panneaux de signalisation de danger en usage au Québec. Les clignotants sont activés au besoin, par exemple lors des premières neiges. L'énergie nécessaire à leur fonctionnement provient de panneaux solaires intégrés au sommet de la structure.

Deux panneaux de signalisation normalisés ont également été installés sur le chemin du Golf, de part et d'autre de l'autoroute, à proximité de l'extrémité sud des clôtures.

3.6.2 Aménagement paysager

Dans l'emprise clôturée, le terrain a été végétalisé près de certains petits cours d'eau et l'aspect visuel du corridor autoroutier a été amélioré à l'aide d'espèces « non attractives » (Annexe XII). Aux passages à faune, les abords des cours d'eau ont fait l'objet de plantations d'arbustes et d'arbres (Annexe XIII), dont certaines espèces sont prisées par les cerfs pouvant ainsi contribuer à ce que ceux-ci « apprivoisent » les passages.

3.7 Ouverture de la route

Malgré toutes les mesures mises en place pour éviter qu'un cerf reste coincé dans l'emprise clôturée, un risque demeure. Dans l'éventualité où une telle situation se produirait, un protocole pour sécuriser la route et faciliter le retour de l'animal en forêt a été élaboré par le MTQ et mis au point en collaboration avec le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) et la Sûreté du Québec (Annexe XIV).

Ce protocole consiste à prévenir les usagers de la route de réduire leur vitesse avant de guider le cerf jusqu'à un sautoir à l'une des extrémités de la clôture, ou jusqu'à une porte, afin de le faire sortir de l'emprise clôturée sécuritairement. L'intervenant doit idéalement rester à l'intérieur de son véhicule pour ne pas augmenter le niveau de stress de l'animal. Après l'intervention, le responsable doit remplir le Rapport d'intrusion d'un animal (cerf de Virginie) à l'intérieur des clôtures –autoroute 73 – Saint-Joseph-de-Beauce (Annexe XV).

Par ailleurs, faire le suivi et l'entretien des structures est primordial pour assurer le bon fonctionnement des installations, éviter l'intrusion des animaux dans l'emprise clôturée et diminuer la probabilité d'accidents. Le MTQ fait régulièrement des inspections et les anomalies sont corrigées dès qu'elles sont constatées.

4. Matériel et méthodes

4.1 Rigueur de l'hiver

Afin de disposer d'un indice sur la rigueur de l'hiver, deux données ont été récoltées selon le protocole en vigueur dans les études de l'écologie du cerf au Québec (Potvin et Breton, 1992); il s'agit de l'épaisseur de neige et du degré d'enfoncement. L'épaisseur de neige a été déterminée à l'aide de dix règles à neige qui ont été installées en 2003 dans le ravage de la rivière Calway (Figure 2). Graduées de 0 à 120 cm, elles ont été placées sur deux rangées, dans un habitat représentatif du ravage, avec un espacement minimal de 3 m entre chacune. L'épaisseur de neige était mesurée toutes les deux semaines. L'enfoncement des cerfs dans la neige était estimé au même moment. Pour ce faire, un tuyau de cuivre gradué d'un diamètre de 3,5 cm et pesant 2 kg, soit la surface portante d'un cerf de taille moyenne, était lâché près de chaque règle à neige à une hauteur de 5 cm du sol et la profondeur d'enfoncement dans la neige était notée. Ces mesures ont permis d'obtenir un indice de la rigueur de l'hiver appelé le NIVA (Potvin et Breton, 1992). Le NIVA est la somme des jours-cm d'enfoncement au cours d'un hiver. Dans cette région du Québec, l'hiver est considéré comme rigoureux lorsque le NIVA est supérieur à 5 000 jours-cm. À l'inverse, on le considère comme clément si l'indice est inférieur à 3 000 jours-cm et, moyen, entre ces deux limites (B. Langevin, comm. pers.).

4.2 Abondance de la population de cerfs

Il existe peu de données pour estimer l'évolution des effectifs de cerfs dans le ravage de la rivière Calway. La superficie occupée par les réseaux de pistes fournit un indice des effectifs de cerfs qui utilisent le ravage, mais les conditions de neige peuvent avoir une influence importante sur la dimension de ce dernier. Cependant, dans certaines conditions, la récolte des chasseurs procure un indice fiable de l'abondance des populations de cervidés. Le nombre de cerfs de Virginie mâles adultes récoltés au Québec au cours de la saison de chasse au moyen d'une arme à feu est fortement corrélé avec la densité des populations de cerfs évaluée par inventaires aériens (Daigle et Crépeau, 2003). Par conséquent, cette récolte de mâles adultes est une variable adéquate afin de déterminer la tendance démographique des populations de cerfs. Au Québec, la chasse aux cerfs de Virginie se déroule dans 28 zones de chasse et l'enregistrement des bêtes récoltées est obligatoire. Notre aire d'étude se situait dans la zone 3 Ouest et c'est la récolte des cerfs mâles adultes

entre 1984 et 2008 dans cette zone qui a servi d'indice pour la tendance démographique de la population de notre aire d'étude.

4.3 Utilisation des aménagements par les cerfs

Des relevés de pistes ont été faits environ une fois par mois au cours des hivers 1999, 2000 et 2001 et à sept reprises au cours de l'hiver 2002 afin de déterminer la présence des cerfs dans le ravage de la rivière Calway. Cette méthode a permis de trouver les principaux secteurs fréquentés par les cerfs pendant l'hiver aux environs du tracé projeté de l'autoroute.

L'utilisation de caméras de détection de même que le dénombrement des pistes sont deux méthodes efficaces et reconnues pour déterminer le nombre de cerfs fréquentant les structures de franchissement (Ng *et al.*, 2004; Braden *et al.*; 2008). Durant l'étude, les deux méthodes ont été utilisées afin d'estimer le niveau d'utilisation par les cerfs des divers aménagements reliés à la route. La principale méthode consistait à faire des relevés périodiques de pistes en bordure des aménagements ou sous les structures. Cependant, il a aussi été possible de valider les observations grâce à la prise de photographies dans certains sites (Annexe XVI).

Un total de 11 caméras (Vigil, Circuitronique Estrie Inc., Sherbrooke, Québec, Canada et Spypoint, GG Telecom, Victoriaville, Québec, Canada) a servi à évaluer l'utilisation des structures par les cerfs à partir du décompte des pistes. Deux caméras ont été placées de part et d'autre du passage à faune du ruisseau Doyon, quatre au pont de la rivière Calway, deux au pont d'étagement du chemin de la Carrière et trois à la traversée de la rivière des Plante (Figure 2). Les caméras étaient orientées à 45° par rapport aux déplacements des cerfs. La date, l'heure, le nombre d'individus et la direction étaient notés. Les appareils photo ont été en fonction entre l'automne 2006 et 2009. Ils avaient été programmés pour prendre des photos toute la journée à un intervalle de 10 à 30 secondes. Les photos n'avaient pas pour but de dénombrer les cerfs ayant utilisé les structures, mais plutôt de valider leur comportement lors de leur passage aux diverses structures. Par conséquent, même si certains cerfs ont pu être comptés plus d'une fois, ces appareils ont permis de comparer l'efficacité des structures (Koerth *et al.*, 1997).

On a fait le suivi des pistes une fois par semaine entre décembre et mai et une fois aux deux semaines entre juin et novembre. Les relevés ont commencé lors de l'installation des premiers aménagements à la fin de l'année 2005 et se sont poursuivis jusqu'au terme de

l'étude en 2009. Un gravier fin a été étendu sur le sol de part et d'autre de la chaussée afin d'observer les pistes en l'absence de neige. Après chaque décompte des pistes, celles-ci étaient effacées pour qu'elles ne soient pas comptabilisées plus d'une fois. Les pistes ont été dénombrées dans quatre séries de sites : sur une longueur de 150 m le long de l'autoroute à partir de l'extrémité nord des clôtures, aux clôtures de déviation, aux cinq structures de franchissement ainsi qu'aux sautoirs.

4.3.1 Extrémité des clôtures

Le décompte des pistes a été fait aux extrémités de la clôture au nord du nouveau tronçon d'autoroute pour étudier le comportement des cerfs face à cet obstacle. On a relevé les pistes sur une distance de 150 m à partir de l'extrémité des clôtures par section de 25 m et noté leur direction (vers la route ou la forêt), leur nombre, leur point d'arrivée (est ou ouest), si elles indiquaient que les cerfs étaient entrés dans l'emprise clôturée ou avaient traversé l'autoroute.

4.3.2 Clôtures de déviation

Des clôtures de déviation ont été installées à l'extrémité nord de la zone clôturée afin de diminuer le risque que des cerfs pénètrent dans l'emprise de la route. Seules les pistes qui longeaient la clôture de déviation sur au moins la moitié de sa longueur ont été comptabilisées. On a noté le nombre de pistes, leur direction (vers la route ou la forêt) et si, une fois arrivés à l'extrémité de la clôture de déviation, les cerfs se sont dirigés vers la forêt ou vers l'autoroute.

4.3.3 Structures de franchissement

On a noté le nombre de pistes ainsi que la direction (est ou ouest) pour chacune des cinq structures de franchissement (Figure 2).

4.3.4 Sautoirs

Les sautoirs ont été visités une fois par semaine de décembre à avril et deux fois par mois le reste de l'année. On a noté le nombre de pistes et distingué les cerfs qui ont fréquenté les sautoirs et ont effectivement sauté hors de l'emprise de ceux qui n'ont pas sauté. Certains cerfs qui n'ont pas sauté hors de l'emprise clôturée au premier sautoir ont longé la clôture à

cervidés et emprunté un second sautoir pour retourner en forêt. Par conséquent, certains cerfs ont pu être comptabilisés plus d'une fois dans l'analyse de l'utilisation des sautoirs.

4.4 Inventaires aériens du ravage de cerfs

Des inventaires aériens ont été réalisés chaque hiver afin de déterminer la superficie du ravage en cartographiant les réseaux de pistes, conformément aux normes d'inventaires aériens de l'habitat du cerf en vigueur au MRNF (Potvin *et al.*, 1992). Afin de prendre en compte la variabilité annuelle, deux inventaires par hiver ont été faits en 2003, 2008 et 2009. Entre 2004 et 2007, un seul inventaire a pu être réalisé chaque hiver en raison de la trop faible accumulation de neige au sol.

4.5 Radiotélémetrie

La radiotélémetrie VHF (*Very High Frequency*) a été employée pour estimer les mouvements et l'utilisation de l'espace par les cerfs avant, pendant et après la construction de la route 73. Les cerfs étaient repérés par voie terrestre, mais aussi, à l'occasion, lors de survols aériens. Deux modèles de colliers ont été utilisés, l'un provenant de Lotek Wireless Inc. (Newmarket, Ontario) et l'autre de Holohil Systems Ltd. (Carp, Ontario). Ces colliers fonctionnent à piles et ont une durée de vie estimée entre trois et cinq ans selon le modèle retenu. Ils sont munis d'un détecteur de mouvement qui envoie un signal accéléré lorsque le collier est immobile durant une certaine période (p. ex. six heures), ce qui permet à l'observateur de déduire que le collier s'est détaché de l'animal ou que le cerf est mort. Dans la suite de ce rapport, on réfèrera à cette caractéristique technique comme étant l'option mortalité.

La localisation des cerfs a été calculée par triangulation à partir de stations fixes géoréférencées et la précision de cette estimation a été vérifiée. Lorsqu'un collier transmettait en option mortalité, celui-ci était localisé normalement par triangulation obtenue par voie terrestre ou aérienne. Par la suite, une localisation avec un récepteur GPS (*Global Positioning System*) était prise directement sur le site où le collier avait été trouvé. Les deux localisations étaient finalement comparées afin de déterminer la précision des localisations terrestres et aériennes.

4.6 Capture de cerfs

Les cerfs ont été capturés surtout au cours des mois de janvier, entre 2003 et 2008, à l'aide de 13 cages Stephenson (Rongstad et McCabe, 1984) réparties dans le ravage (Figure 2) et appâtées avec des branches de cèdre et des moulées commerciales. Les cerfs porteurs de bois étaient relâchés dès l'arrivée à la cage sans aucune manipulation physique afin d'éviter les risques de blessures par l'entremêlement des bois dans le filet. Pour les autres, un filet était placé devant la cage avant de l'ouvrir. Les cerfs étaient physiquement immobilisés dans ce filet sans utilisation d'analgésiques, d'anesthésiants ou de tranquillisants. Le temps moyen de manipulation était inférieur à cinq minutes. Le sexe et l'âge de tous les cerfs (faon ou adulte) étaient déterminés à partir de leur taille et de la présence de bois ou de vestiges de bois. Ils ont également été munis d'une étiquette à l'oreille et on a noté l'endroit de la capture. Certains cerfs ont été munis d'un collier radio-émetteur VHF. Le collier des mâles était doté d'une bande élastique lui permettant de prendre un peu d'expansion lors du gonflement du cou durant la période de rut à l'automne (Hall, 1984). Celui des faons a été modifié par l'ajout d'une couture temporaire qui en diminue le diamètre de 10 cm. Cette couture est conçue de manière à céder progressivement pendant la croissance du cerf (Diefenbach *et al.*, 2003). On a favorisé l'installation des colliers sur les femelles, car elles ont généralement un taux de survie supérieur à celui des mâles lorsqu'arrive la saison de la chasse ou que les conditions hivernales sont rigoureuses. On a fait de nouvelles captures chaque année afin de maintenir à une trentaine le nombre d'individus suivi par radiotélémétrie.

4.7 Repérages terrestres

Les cerfs munis d'un collier émetteur ont été localisés par triangulation à partir du sol deux fois par semaine du 1^{er} janvier à la mi-avril entre 2003 et 2009. Les localisations relevées en décembre ont été retirées des analyses afin de disposer de données comparables, les cerfs n'ayant pas toujours rejoint le ravage en décembre, la période de leur arrivée pouvant varier selon les conditions de neige. On cherchait à obtenir un minimum de 25 localisations par cerf par hiver. Deux localisations en été, soit une en juillet et une en septembre, ont également été réalisées entre 2003 et 2009. Des localisations nocturnes ont aussi été faites durant le premier hiver, mais, comme ces localisations ne permettaient pas de déceler de variations dans le domaine vital hivernal des cerfs, seules des localisations diurnes ont été relevées ultérieurement (Desjardins, S., données non publiées). Les repérages ont été mesurés à

l'aide d'une boussole à main. Les stations fixes utilisées pour la triangulation étaient localisées grâce à un système de positionnement géographique (GPS). Le logiciel LOCATE II (Pacer Software, Truro, Nouvelle-Écosse; Nams 1990) a été utilisé afin d'estimer les positions des cerfs à partir des données de triangulation. Ce logiciel a également permis de tracer les ellipses de confiance des positions en utilisant l'estimation du maximum de vraisemblance (*Maximum Likelihood Estimator*). Les positions ont par la suite été introduites dans un système d'information géographique (ArcGIS 9.3; ESRI, Redlands, Californie, USA) pour des analyses ultérieures.

Trois périodes ont été définies pour les besoins de l'analyse, soit les périodes « avant », « pendant » et « après » la construction de la nouvelle section de l'autoroute. La période « avant » est comprise entre l'hiver 2003 et l'été 2004 inclusivement. La période « pendant » se situe dans l'intervalle entre l'hiver 2005 et l'été 2007 inclusivement tandis que la période « après » s'étend de l'hiver 2008 à l'été 2009 inclusivement. Les trois périodes comportent donc respectivement deux, trois et deux hivers de relevés.

4.8 Repérages aériens

En hiver comme en été, seuls les individus n'ayant pas été localisés par voie terrestre ont été recherchés à partir d'un avion muni d'une antenne. Ce repérage s'effectuait deux fois lorsque les cerfs étaient dans leurs domaines vitaux estivaux, soit une fois en juillet et une autre en septembre. Les positions ont été prises à l'aide d'un récepteur GPS à bord de l'aéronef durant le survol et les positions des cerfs ont été estimées par triangulation. Ces positions télémétriques ont ensuite été entrées dans un système d'information géographique pour analyse (ArcGIS 9.3).

4.9 Estimation de la survie des cerfs

Lorsque le collier émettait en option mortalité, suggérant une période d'inactivité, on l'a localisé par voie terrestre et tenté de déterminer ce qui s'était produit. On a d'abord cherché à savoir si le collier était simplement tombé au sol. On a souvent observé que les cerfs parviennent à enlever le collier dans certaines situations. Puis on a estimé la date approximative de la perte du collier pour préciser le moment où le suivi radiotélémétrique de l'animal a pris fin. Généralement, la localisation du collier permet aux observateurs de trouver la carcasse du cerf. Une analyse de la condition de sa carcasse, des indices de la présence de prédateurs (fèces, traces, morsures et présence de sang sur le collier, etc.) ainsi que l'état

de la végétation sur le site ont été examinés afin de distinguer entre prédation et mort naturelle. Lorsqu'il n'a pas été possible de déterminer la cause de la mort sur le terrain, la carcasse a été envoyée au Laboratoire d'expertise en pathologie animale du Québec (LEPAQ) pour que les vétérinaires procèdent à une nécropsie. Les causes de mortalité ont été classées en six catégories : accident routier, causes naturelles autres que la prédation (combat, inanition, ruminite), prédation, chasse, braconnage et cause inconnue. Les quelques cas de mortalités reliées aux manipulations ont été exclus des analyses.

Les observations suivantes ont permis de déterminer ce qui avait causé la mort des cerfs :

- Accident routier : cerf trouvé en bordure de la route avec des lésions corporelles typiquement associées à une collision avec un véhicule (fractures, sang sur la route, etc.).
- Prédation : morsures ou sang sur le collier; état de la végétation et présence de fèces et de traces sur le site.
- Cause naturelle autre que la prédation : inanition, déterminée par l'état de la moelle du fémur (Cheatum, 1949); ruminite et combat, diagnostiqués en laboratoire par un vétérinaire.
- Chasse : déclaration des chasseurs.
- Braconnage : carcasse de cerf dont les membres postérieurs sont manquants; cerf mort dont on a tenté de couper le collier; cerf abandonné en forêt après avoir été tué par un projectile.
- Cause inconnue : les cerfs ont été classés dans cette catégorie lorsqu'il n'a pas été possible de déterminer la cause de la mort ou qu'un doute subsiste sur celle-ci.

4.10 Accidents routiers

En Chaudière-Appalaches, le MTQ dispose de deux sources de données pour évaluer le nombre de collisions entre un véhicule et un cerf de Virginie. La première est la présence de carcasses dans l'emprise des routes et la seconde est le registre du Diagnostic de sécurité routière (DSR). Ces relevés sous-estiment le nombre réel de collisions puisqu'une partie des animaux blessés vont mourir plus loin dans la forêt et qu'une certaine quantité d'accidents ne

sont pas déclarés. Le MTQ prend en note l'endroit et la date chaque fois qu'une carcasse d'animal est ramassée le long d'une route. Afin de comparer le nombre d'accidents survenus après la construction de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway, nous avons analysé les statistiques d'accidents sur trois routes et dans quatre ravages situés à proximité de notre aire d'étude.

4.11 Analyses statistiques

Diverses analyses statistiques ont été réalisées afin de répondre aux objectifs de l'étude. Pour chacune de ces analyses, le seuil statistique de signification a été fixé à $\alpha = 0,05$ et les moyennes et les erreurs types (e.t.) sont présentées. Les principaux tests utilisés ont été le test de χ^2 et le modèle linéaire général mixte (MLGM) réalisés à l'aide de la version 17 de SPSS (SPSS Inc., Chicago, USA). Les analyses de MLGM estiment la taille des effets de plusieurs variables intégrées au même modèle. Par conséquent, des différences mineures peuvent être perçues entre les résultats de ces analyses et les moyennes issues d'une approche univariée présentées dans les tableaux de la section Résultats. Pour chaque analyse de MLGM, les interactions ont été enlevées, car aucune ne s'est avérée significative ($P > 0,05$). Dans les analyses de MLGM, le numéro d'identification des cerfs a été considéré en variable aléatoire afin de prendre en compte les mesures répétées sur un même individu et éviter ainsi les problèmes reliés à la pseudo-répétition.

4.11.1 Utilisation des aménagements par les cerfs

L'analyse de l'utilisation des aménagements a été faite à l'aide d'un test de χ^2 . La variable décrivant la direction de déplacement a été éliminée des analyses pour les structures de franchissement étant donné que nous avons constaté la difficulté de déterminer la direction empruntée par les cerfs dans les sentiers.

– Extrémité des clôtures

Dans l'analyse de l'« effet de bout » des clôtures, les cinq variables utilisées décrivaient le côté de l'autoroute fréquenté (est ou ouest), le mois, la direction de déplacement (forêt ou route, est ou ouest), l'année de même que la section de l'autoroute fréquentée (par tranche de 25 m).

– *Clôtures de déviation*

Quatre variables ont été analysées pour étudier l'efficacité des clôtures de déviation soit le mois, l'année, la présence de neige et la direction (forêt ou route).

– *Structures de franchissement*

Dans l'analyse de l'utilisation des structures de franchissement, les trois variables étudiées ont été le mois, la section fréquentée (nord ou sud) et l'année.

– *Sautoirs*

Afin de vérifier l'utilisation des sautoirs, trois variables ont été étudiées, soit le mois, l'utilisation (sauté ou redescendu) et la présence de neige.

4.11.2 *Distribution spatiale en hiver*

– *Superficie du ravage*

La superficie du ravage a été calculée avec le logiciel ArcGIS 9.3 à partir de données d'inventaire aérien et de télémétrie hivernale. Le recouvrement représente la superficie commune aux deux périodes, divisée par la superficie totale des deux périodes, moins la superficie commune, multipliée par 100 ($\text{superficie commune} / [\text{superficie totale} - \text{superficie commune}] * 100$).

– *Mode d'utilisation du ravage*

Chaque domaine vital des cerfs a été classé dans l'une de ces trois catégories : ouest, est et des deux côtés. Les cerfs des deux premières catégories sont ceux dont le domaine vital hivernal était localisé exclusivement du côté ouest ou est respectivement de l'emplacement de l'autoroute. La troisième catégorie comprend les cerfs dont le domaine vital hivernal était situé de part et d'autre de l'emplacement de l'autoroute. Étant donné que l'autoroute n'était pas encore construite pour la période « avant », son emplacement futur a été considéré. Cette analyse a comparé la densité d'utilisation par rapport aux trois périodes de l'étude à l'aide d'un test de χ^2 .

– *Proportion de cerfs résidents et migrants*

Trois classes de cerfs ont été déterminées pour cette analyse soit les résidents, les migrants et les intermédiaires. Les résidents sont les cerfs étant demeurés à moins de 500 m des limites du ravage durant l'été. Cette distance a été choisie, car elle correspond à peu près à la précision de la télémétrie aérienne. Les grands migrants sont ceux qui ont

effectué une migration de plus de 10 km, distance déterminée arbitrairement, tandis que les migrateurs intermédiaires sont ceux qui se situent entre les deux autres classes, soit ceux qui ont effectué une migration entre 500 m et 10 km. Les migrations ont été déterminées comme étant la distance entre la localisation du cerf lors de la télémétrie aérienne estivale et le ravage de l'hiver précédent. Cette distance a été calculée à l'aide de l'extension ET GeoWizards 9.8 (ET Spatial Techniques, Faerie Glen, South Africa) dans le logiciel ArcGIS 9.3. Étant donné qu'en moyenne deux localisations estivales ont été prises par cerf annuellement, la localisation la plus éloignée a été conservée pour cette analyse. Cette décision a été prise afin d'éviter de classer dans la mauvaise catégorie un cerf ayant migré tardivement. Cela ne concernait toutefois que huit cerfs.

Pour cette analyse, la composition des cerfs porteurs d'un collier émetteur entre les trois périodes de même que le type de migration effectuée par rapport au sexe et à l'âge des cerfs ont été examinés à l'aide d'un test de χ^2 .

– *Fidélité au ravage*

La fidélité a été déterminée par le pourcentage de cerfs revenant au ravage l'année suivante. Cette analyse a été réalisée entre les trois périodes à l'étude à l'aide d'un test de χ^2 .

– *Taille des domaines vitaux hivernaux*

Les domaines vitaux hivernaux ont été estimés par la méthode du polygone convexe minimal (*Minimum Convex Polygon*, MCP) avec une aire de confiance fixée à 95 % à partir de l'extension Home Range Tool dans ArcGIS 9.3. Un minimum de 25 localisations a été utilisé afin d'estimer ces domaines vitaux (Lesage *et al.*, 2000). Onze localisations, représentant cinq individus qui avaient changé de ravage, ont été exclues.

Le MLGM sur la taille des domaines vitaux a été testé selon plusieurs combinaisons avec effets fixes, soit le sexe, l'âge, l'état migrateur (résident, intermédiaire ou migrateur), la localisation du domaine vital par rapport à l'autoroute (est, ouest, des deux côtés), la présence de l'autoroute, l'année et la période de même qu'un facteur en covariable, soit l'indice de sévérité hivernal (NIVA). Le facteur décrivant la présence de l'autoroute exclut les domaines vitaux des années 2003 et 2004, car l'autoroute n'était pas encore construite. Le numéro d'identification des cerfs a été mis en variable aléatoire dans cette analyse afin de prendre en compte le contexte des mesures répétées sur un même individu.

– *Fidélité des domaines vitaux hivernaux*

La fidélité a été déterminée par le pourcentage de recouvrement entre deux années. Le recouvrement a été calculé de la même façon que celui de la superficie du ravage. Six facteurs fixes ont été intégrés à l'analyse par MLGM, soit l'année, la période, le sexe, l'âge, l'état de migration et la présence de l'autoroute. Le numéro d'identification des cerfs a été utilisé en variable aléatoire dans cette analyse.

4.11.3 Distribution spatiale en été

– *Aire de distribution des cerfs en été*

Afin de déterminer l'aire de distribution des cerfs en été, un MCP avec une aire de confiance fixée à 95 % a été effectué à partir de l'extension *Home Range Tool* dans ArcGIS 9.3 sur l'ensemble des localisations provenant de la télémétrie aérienne. Le pourcentage de recouvrement a par la suite été calculé de la même façon que celui de la superficie du ravage.

Le numéro d'identification des cerfs a été mis en variable aléatoire afin de prendre en compte les mesures répétées. Onze localisations, représentant cinq individus qui avaient changé de ravage, ont été exclues.

– *Distance de migration pour les domaines vitaux estivaux*

La détermination de la distance de migration pour les domaines vitaux estivaux a déjà été décrite ci-dessus. Trois facteurs fixes ont été intégrés à l'analyse par MLGM, soit la période, le sexe et l'âge. Le numéro d'identification des cerfs a été utilisé en variable aléatoire.

– *Fidélité des domaines vitaux estivaux*

La fidélité aux domaines vitaux d'été a été déterminée à partir de la distance entre les localisations lors de deux étés différents pour un même cerf. Le MLGM a été employé avec quatre facteurs fixes, soit le sexe, l'âge, l'état de migration et la période. Le numéro d'identification des cerfs a été utilisé en variable aléatoire.

4.11.4 Mortalité

Afin d'estimer les taux de survie des cerfs de Virginie qui avaient été marqués lors de notre étude, nous avons comparé le nombre de cerfs en vie à la fin de l'année (ou de la saison de chasse) par rapport au nombre de cerfs faisant l'objet d'un suivi au début de l'année (ou de la

saison de chasse). Les cerfs ayant perdu leur collier au cours de l'année ont été exclus des analyses de survie.

Étant donné que les données sur la mortalité n'étaient pas normales (test de Shapirow-Wilk), un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les sexes et les âges par rapport à l'année et aux causes de mortalité. Le test de χ^2 a également été utilisé pour certaines comparaisons.

5. Résultats

5.1 Contexte biophysique

5.1.1 Rigueur de l'hiver

L'indice NIVA a varié en fonction des années (Figure 5). Dans le ravage de la rivière Calway, les hivers 2005 et 2007 ont été cléments pour les cerfs tandis qu'ils ont été moyennement sévères les autres années. L'hiver 2008 a été plus rigoureux avec 4 744 jours*cm d'enfoncement. Après l'hiver 2001, l'hiver 2008 a été le deuxième hiver le plus rigoureux pour le cerf depuis vingt ans dans la zone 3 Ouest (5 124 jours-cm d'enfoncement).

5.1.2 Abondance de la population de cerfs

La récolte de cerfs mâles adultes dans la zone 3 a connu une forte croissance depuis 1984 (Figure 6). En effet, elle a augmenté de plus de six fois en 24 ans, passant de 348 à 2 251 cerfs récoltés en 2007. Deux baisses importantes de récolte ont été observées en 2001 et en 2008 à la suite d'hivers plus rigoureux que la moyenne.

Par contre, entre 2003 et 2007, le nombre de cerfs mâles adultes récoltés pendant la chasse est demeuré relativement constant autant dans la zone 3 que dans la zone 3 Ouest où se situe le ravage de la rivière Calway. Dans la zone 3 Ouest, la récolte de cerfs mâles adultes a varié entre 1 680 et 1 758. De plus, comme dans l'ensemble de la zone 3, la récolte a fortement chuté en 2008, avec seulement 1 117 mâles adultes prélevés par les chasseurs. La population de cerfs du ravage de la rivière Calway a probablement suivi la même tendance durant notre étude.

5.2 Captures

Pour les besoins de notre étude, 224 cerfs ont été capturés dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2008. Parmi ces cerfs, 131 ont été munis d'un collier VHF (Tableau 1) et suivis sur une période allant d'un an à six ans (Figure 7), principalement entre janvier et avril ainsi que deux fois durant l'été (Tableau 2). Le nombre de cerfs suivi durant l'hiver selon l'âge et le sexe a varié en fonction des années (Tableau 3). Trente-neuf et 13 localisations ont été utilisées afin de déterminer les précisions de la télémétrie terrestre et aérienne. Selon cette analyse, il est apparu que la distance moyenne entre la vraie position déterminée par GPS de la carcasse ou du collier au sol et les localisations estimées par voie terrestre et aérienne étaient respectivement de 158 et 430 m.

5.3 Infrastructures routières

Outre un petit nombre de cas isolés causés par du vandalisme sur la clôture à cervidés, aucune intrusion de cerf dans l'emprise clôturée n'a été observée durant l'étude autant sous, à travers qu'au dessus de la clôture à cervidés.

5.3.1 Effet de bout

À l'extrémité nord des clôtures, le nombre de cerfs qui fréquentent les abords de l'autoroute n'était pas différent (test de χ^2 , $n = 109$, $P = 0,389$) du côté est et du côté ouest de l'autoroute. Les cerfs ont principalement fréquenté la bordure de l'autoroute durant le mois de janvier (30 %, test de χ^2 , $n = 109$, $P < 0,001$; Tableau 4). Il n'y a pas eu de différence significative entre le nombre de cerfs qui retournaient en forêt par rapport à ceux qui choisissaient de traverser la route (test de χ^2 , $n = 109$, $P = 0,389$). Les cerfs ont fréquenté les abords de l'autoroute surtout pendant sa construction et donc avant que la circulation débute (80 %, test de χ^2 , $n = 109$, $P < 0,001$; Tableau 5).

Les cerfs traversent l'autoroute principalement en janvier (47 %, test de χ^2 , $n = 45$, $P < 0,001$; Tableau 4). Aucune différence n'a été observée en ce qui concerne la direction de traversée (test de χ^2 , $n = 45$, $P = 0,841$) ou la distance par rapport au début de la section clôturée (test de χ^2 , $n = 45$, $P = 0,081$; Figure 8). Aucun cerf n'a traversé après l'ouverture de l'autoroute à la circulation automobile. Enfin, 19 individus se sont introduits par l'extrémité nord des clôtures pendant la construction et seulement un cerf a été observé à l'intérieur de l'emprise clôturée depuis l'ouverture de l'autoroute à la circulation automobile.

Les cerfs ayant choisi de retourner en forêt après avoir longé les clôtures de déviation à l'extrémité nord de la zone clôturée sont six fois plus nombreux que ceux qui ont choisi de se diriger vers la route (87 %, test de χ^2 , $n = 67$, $P < 0,001$). De plus, ces barrières de déviation ont le plus souvent été utilisées lors de la migration printanière (40 %, test de χ^2 , $n = 67$, $P < 0,001$; Figure 9). Par contre, aucune différence n'a été observée qu'il y ait ou non de la neige (test de χ^2 , $n = 67$, $P = 0,541$).

5.3.2 Sautoirs

Les cerfs montent sur les sautoirs, mais ils hésitent à sauter hors de l'emprise clôturée et demeurent plus souvent à l'intérieur de celle-ci une fois rendus au sommet de l'aménagement (64 %, test de χ^2 , $n = 65$, $P = 0,018$). Par contre, les cerfs n'ayant pas sauté hors de l'emprise clôturée au premier sautoir ont souvent longé la clôture à cervidés et emprunté un second sautoir pour retourner en forêt. Les cerfs choisissent plus souvent de sauter hors de l'emprise lors des migrations (70 %, test de χ^2 , $n = 65$, $P = 0,018$; Figure 10) et en présence de neige (71 %, test de χ^2 , $n = 65$, $P = 0,018$) tandis qu'ils demeurent plus souvent dans l'emprise clôturée en l'absence de couvert de neige (63 %, test de χ^2 , $n = 65$, $P = 0,018$). L'utilisation des sautoirs a également varié selon les années (test de χ^2 , $n = 65$, $P < 0,001$; Tableau 6), l'année 2008 ayant le plus haut taux de succès (83 %). Le succès d'utilisation des sautoirs a été plus élevé en présence de circulation automobile (test de χ^2 , $n = 65$, $P < 0,001$; Tableau 6), mais cela coïncide également avec des hivers plus rigoureux (test de χ^2 , $n = 65$, $P < 0,001$; Tableau 6). Depuis l'ouverture de l'autoroute à la circulation, le taux de succès des sautoirs a été de 77 %.

5.3.3 Structures de franchissement

Les cinq structures de franchissement n'ont pas été fréquentées par le même nombre de cerfs (test de χ^2 , $n = 1702$, $P < 0,001$; Tableau 7). Le pont de la rivière des Plante a été la structure la plus utilisée, suivie par le pont de la rivière Calway, le passage à faune du ruisseau Doyon, le pont d'étagement de la route Calway et le pont d'étagement du chemin de la Carrière. Le pont de la rivière des Plante a été utilisé par les cerfs principalement en période de confinement, soit entre les mois de janvier et avril (68 %, test de χ^2 , $n = 772$, $P < 0,001$; Tableau 8), alors que le pont de la rivière Calway a été utilisé principalement lors des migrations (59 %, test de χ^2 , $n = 538$, $P < 0,001$; Tableau 8) tout comme le passage à faune

du ruisseau Doyon (54 %, test de χ^2 , $n = 538$, $P < 0,001$; Tableau 8), le pont d'étagement de la route Calway (76 %, test de χ^2 , $n = 538$, $P < 0,001$; Tableau 8) et le pont d'étagement du chemin de la Carrière (90 %, test de χ^2 , $n = 538$, $P < 0,001$; Tableau 8).

5.4 Écologie et comportement

5.4.1 Distribution spatiale en hiver à l'échelle de la population

– Superficie du ravage

La superficie du ravage a varié entre 22 et 29 km² et le recouvrement entre 57 et 61 % selon l'inventaire aérien (Tableau 9). Aucune différence n'a été observée pour la superficie (test de χ^2 , $n = 3$, $P = 0,611$; Tableau 9) et le recouvrement (test de χ^2 , $n = 3$, $P = 0,913$; Tableau 9) entre les trois périodes à l'étude, soit « avant », « pendant » ou « après » la construction de l'autoroute. La superficie qui a été déboisée pour la construction de l'autoroute est d'environ 0,6 km² et représente moins de 3 % de la superficie du ravage.

– Mode d'utilisation du ravage

Tout au long de l'étude, aucune différence significative n'a été observée pour l'effort de capture entre le côté ouest et le côté est (test de χ^2 , $n = 6$, $P = 0,932$). Avant la construction de l'autoroute, 71 % des 49 cerfs portant un collier émetteur occupaient en hiver un domaine vital situé de part et d'autre de l'emplacement de l'autoroute. Les autres cerfs faisant l'objet d'un suivi avaient un domaine vital restreint à un seul côté de l'emprise, soit 25 % du côté est et seulement 4 % du côté ouest. Les cerfs ont significativement modifié ce patron d'utilisation pendant (test de χ^2 , $n = 203$, $P < 0,001$; Tableau 10) et après (test de χ^2 , $n = 203$, $P < 0,001$; Tableau 10) la construction de l'autoroute. En effet, le pourcentage de cerfs occupant un domaine vital des deux côtés de l'autoroute est passé à 46 %, celui des cerfs ayant leur domaine vital du côté est seulement à 12 % et celui des cerfs ne fréquentant que le côté ouest en période de confinement a augmenté à 42 %. En hiver, les cerfs circulent donc moins de part et d'autre du territoire où a été construite l'autoroute (test de χ^2 , $n = 203$, $P = 0,002$; Tableau 10). La même différence a été observée en analysant seulement les cerfs qui ont été suivis sur plus d'une période (test de χ^2 , $n = 26$, $P < 0,001$). Le pourcentage de cerfs occupant un domaine vital des deux côtés de l'autoroute est passé de 75 à 42 %, celui des cerfs ayant leur domaine vital du côté est de 17 à 12 % et celui des cerfs ne fréquentant que le côté ouest en période de confinement a augmenté de 8 à 46 % entre les périodes

« avant » et « après ». De plus, une différence significative a été remarquée parmi les cerfs ayant été suivis sur plus d'une période et qui ont modifié l'emplacement de leur domaine vital (test de χ^2 , $n = 26$, $P < 0,001$). Après la construction de l'autoroute, seulement 4 % des cerfs ont déplacé leur domaine vital du côté est, 15 % l'ont transféré de part et d'autre de l'autoroute et 39 %, du côté ouest. Parmi les cerfs ayant été suivis sur plus d'une période, 42 % n'ont pas modifié l'emplacement de leur domaine vital.

– Fidélité des cerfs au ravage

La fidélité des cerfs au ravage ne semble pas avoir été affectée par la construction de l'autoroute. En effet, en comparant les périodes « avant » et « après » la construction, on ne constate aucune différence significative entre les pourcentages de cerfs qui ne revenaient pas au ravage (test de χ^2 , $n = 98$, $P = 0,127$). Environ 6 % des cerfs changent de ravage annuellement.

5.4.2...Distribution spatiale en hiver à l'échelle de l'individu

– Superficie des domaines vitaux hivernaux

La taille des domaines vitaux hivernaux a varié entre 1,24 et 1,34 km² durant cinq des sept années étudiées (Tableau 11). Le domaine vital moyen était respectivement de 2,44 km² et de 1,19 km² selon que la route était présente ou non dans le ravage (Tableau 12). Chaque année, entre 83 et 95 % des cerfs sont revenus au ravage de la rivière Calway. Ce pourcentage élevé confirme la grande fidélité des cerfs à titre individuel.

Selon l'analyse de MLGM, la taille des domaines vitaux hivernaux des cerfs avant la construction de l'autoroute n'est pas influencée par le sexe ($F_{28,4} = 2,721$, $P = 0,110$), l'âge ($F_{30,5} = 2,226$, $P = 0,146$), l'état migrateur ($F_{28,6} = 0,007$, $P = 0,993$) et la localisation du domaine vital ($F_{25,4} = 0,307$, $P = 0,738$, Tableau 13).

Pendant et après la construction de l'autoroute et en fusionnant les données de 2005 à 2009, l'analyse de MLGM (Tableau 13) a montré que l'état migrateur ($F_{125,0} = 4,860$, $P = 0,009$) et la localisation du domaine vital hivernal ($F_{125,0} = 7,191$, $P = 0,001$) ont fait varier significativement sa taille. Selon cette analyse, la superficie des domaines vitaux des grands migrateurs était respectivement de 1,5 (e. t. = 0,7) et de 2 km² (e. t. = 0,6) plus grande que

celle des migrateurs intermédiaires et des cerfs résidents. Toujours selon la même analyse, la superficie des domaines vitaux hivernaux des cerfs dont le domaine vital était localisé de part et d'autre de l'autoroute était plus grande de $2,2 \text{ km}^2$ (e. t. = 0,6) que celle des cerfs dont le domaine vital était localisé du côté ouest seulement. Le rapport des sexes (test de χ^2 , $n = 134$, $P = 0,162$) de même que le rapport des âges (test de χ^2 , $n = 134$, $P = 0,534$) n'étaient pas statistiquement différents entre les deux échantillons pour cette dernière analyse. La présence de la route influe significativement sur la taille des domaines vitaux hivernaux ($F_{126,0} = 12,398$, $P = 0,001$; Tableau 13). Selon l'analyse de MLGM, les domaines vitaux des cerfs traversés par l'autoroute entre 2005 et 2009 ont une superficie supérieure de $1,8 \text{ km}^2$ (e. t. = 0,5) aux domaines qui ne sont pas traversés par l'autoroute.

De manière générale, en fusionnant les données de 2003 à 2009, l'analyse MLGM a montré que la taille des domaines vitaux hivernaux variait selon les années ($F_{164,0} = 2,815$, $P = 0,012$), mais n'était pas significativement différente entre les périodes ($F_{168,0} = 0,805$, $P = 0,449$; Tableau 13). L'indice de sévérité hivernal NIVA ($F_{167,0} = 2,148$, $P = 0,145$) n'a pas eu d'impact significatif sur la taille des domaines vitaux hivernaux (Tableau 13).

– Fidélité des cerfs à leurs domaines vitaux hivernaux

La fidélité des cerfs à leurs domaines vitaux hivernaux est estimée par le pourcentage de recouvrement qui a varié entre 22 et 27 % pour les trois périodes de l'étude (Tableau 14). Selon l'analyse des données de 2003 à 2009 de MLGM (Tableau 13), le sexe ($F_{75,0} = 1,512$, $P = 0,223$), l'âge ($F_{75,0} = 0,209$, $P = 0,649$), la période ($F_{75,0} = 1,184$, $P = 0,325$) et l'état migrateur ($F_{75,0} = 0,910$, $P = 0,440$) n'ont pas eu d'effets significatifs sur la fidélité des cerfs à leur domaine vital hivernal. De plus entre 2005 et 2009, la présence de la route dans le domaine vital ($F_{65,7} = 1,982$, $P = 0,164$) n'a pas eu d'impact significatif sur la fidélité des cerfs à leur domaine vital hivernal (Tableau 13).

5.4.3 Distribution spatiale en été à l'échelle de la population

– Aire de distribution des cerfs en été

La superficie de l'aire de distribution en été a varié de 395 à 748 km^2 au cours des trois périodes de l'étude, tandis que le pourcentage de recouvrement des aires de distribution a varié entre 27 et 67 % d'une période à l'autre. (Tableau 15).

– *Proportion de cerfs résidents et migrants*

La proportion de cerfs qui fréquentent le ravage toute l'année ou qui migrent pour se rendre à leur habitat d'été n'a pas significativement changé au cours des trois périodes de l'étude (test de χ^2 , $n = 183$, $P = 0,608$; Tableau 16).

Le rapport des âges et des sexes des cerfs porteurs d'un collier émetteur a varié au cours de l'étude (test de χ^2 , $n = 203$, $P < 0,001$). Les femelles sont passées de 43 à 83 % de l'échantillon et les adultes de 49 à 80 % pendant la période qui a précédé et suivi la construction (Tableau 17). L'échantillon postconstruction comprenait donc une plus grande proportion de femelles et d'adultes. Cependant, aucune différence significative n'a été observée dans le comportement migratoire selon les sexes (test de χ^2 , $n = 203$, $P = 0,305$) et les âges (test de χ^2 , $n = 203$, $P = 0,158$). Par conséquent, il semble que la différence de composition de l'échantillon n'ait pas eu d'effet sur les résultats. Environ 40 % des cerfs sont résidents, 30 % migrent sur une distance de moins de 10 km et 30 % parcourent plus de 10 km pour atteindre leur habitat d'été.

5.4.4 Distribution spatiale en été à l'échelle de l'individu

– *Distance de migration pour les domaines vitaux estivaux*

La distance moyenne de migration pour se rendre aux domaines estivaux atteignait respectivement 9,50, 6,31 et 4,01 km pour les périodes « avant », « pendant » et « après » (Tableau 18). L'analyse MLGM a montré que le sexe ($F_{90,4} = 2,668$, $P = 0,106$), l'âge ($F_{81,3} = 2,327$, $P = 0,131$) et la période ($F_{80,5} = 0,908$, $P = 0,407$) n'ont pas influé sur la distance de migration parcourue par les cerfs pour rejoindre leur habitat d'été (Tableau 13).

– *Fidélité des domaines vitaux estivaux*

La distance moyenne entre les localisations qui permettent d'estimer la fidélité aux aires estivales atteignait respectivement 1,35, 1,13 et 0,69 km pour les périodes « avant », « pendant » et « après » (Tableau 19). Selon l'analyse MLGM, il apparaît que le sexe ($F_{46,2} = 0,351$, $P = 0,557$), l'âge ($F_{69,9} = 1,699$, $P = 0,197$), la période ($F_{62,0} = 1,550$, $P = 0,199$) et l'état migrateur ($F_{58,1} = 1,080$, $P = 0,375$) n'ont pas eu d'impact significatif sur la fidélité des cerfs à leur domaine vital d'été (Tableau 13).

5.5 Mortalité

Les accidents routiers ont été analysés à l'échelle régionale alors que la mortalité chez les cerfs a été étudiée plus précisément dans le ravage de la rivière Calway à l'aide de la télémétrie (94 colliers émetteurs).

5.5.1 Accidents routiers à l'échelle régionale

Le nombre d'accidents routiers avec le cerf de Virginie a varié entre 0,93 et 2 accidents par kilomètre de route par an pour quatre tronçons routiers traversant ou longeant des ravages (Tableau 20) situés dans la même région que celui de la rivière Calway. Par ailleurs, le taux de collisions routières avec des cerfs a varié entre 0,38 et 1,15 accident par kilomètre par an pour divers tronçons de route en Chaudière-Appalaches (Tableau 21). Au cours des deux premières années suivant l'ouverture de la nouvelle section de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway (du 15 novembre 2007 au 15 novembre 2009), aucun accident impliquant un cerf de Virginie n'a été signalé au registre du DSR dans les limites de la zone clôturée. Par contre, quatre accidents ont été rapportés au nord de cette zone, entre 500 et 1 500 m au nord de l'extrémité des clôtures. Par ailleurs, une carcasse a été retrouvée dans la partie sud de la zone clôturée.

5.5.2 Mortalité dans le ravage de la rivière Calway

La chasse a été la principale cause de mortalité des cerfs pendant l'étude (53 %, test de χ^2 , $n = 64$, $P < 0,001$; Figure 11). Aucune différence n'a toutefois été observée entre les six autres causes de mortalité (test de χ^2 , $n = 30$, $P = 0,087$; Figure 11).

Des analyses ont aussi été réalisées en combinant le taux de mortalité occasionné par la chasse et celui occasionné par le braconnage et en comparant le résultat à l'ensemble des autres causes (Tableau 22). Ainsi, le taux de mortalité des autres causes a varié significativement entre les trois périodes (test de χ^2 , $n = 23$, $P = 0,022$; Tableau 22 et Tableau 23) contrairement au taux de mortalité « chasse et braconnage » combiné qui n'a pas varié entre les trois périodes (test de χ^2 , $n = 40$, $P = 0,389$; Tableau 22 et Tableau 23). Aucune différence (test de χ^2 , $n = 44$, $P = 0,067$; Tableau 24) entre le taux de mortalité des cerfs résidents, intermédiaires et migrateurs tués pendant la chasse n'a été observée au cours de l'étude.

Le taux de mortalité est significativement différent entre les mâles et les femelles. En effet, le taux de mortalité des mâles a varié entre 29 et 86 % tandis que celui des femelles a fluctué de 13 à 46 %. Au cours de l'étude, les mâles ($\bar{x} = 59 \%$, $n = 45$ mâles) ont eu un taux de mortalité annuel plus élevé (test de Kruskal-Wallis, $U = 1863,000$, $P = 0,001$; Tableau 25) que celui des femelles ($\bar{x} = 30 \%$, $n = 119$ femelles). De plus, les cerfs sans bois ont eu un taux de mortalité plus élevé par braconnage (4 %, test de χ^2 , $n = 182$, $P = 0,045$; Tableau 26) que les cerfs porteurs de bois (0 %). Des différences dans le taux de mortalité selon les classes d'âge et le sexe ont également été observées. Les mâles d'un an et demi ont un plus haut taux de mortalité par la chasse (47 %, test de χ^2 , $n = 182$, $P < 0,001$; Tableau 26) et la prédation (16 %, test de χ^2 , $n = 182$, $P < 0,001$; Tableau 26) que les autres groupes selon les classes d'âge et le sexe. Pour leur part, les femelles faons ont eu un taux de mortalité par accidents routiers (6 %, test de χ^2 , $n = 182$, $P < 0,001$; Tableau 26) et inanition (9 %, test de χ^2 , $n = 182$, $P < 0,001$; Tableau 26) plus élevé que les autres groupes selon les classes d'âge et le sexe tandis que les mâles adultes ont eu un taux de mortalité par prédation (8 %, test de χ^2 , $n = 182$, $P = 0,034$; Tableau 26) plus élevé que les femelles, adultes et faons compris.

La mortalité des cerfs de Virginie mâles de 1,5 an ($\bar{x} = 67 \%$, $n = 15$) tués à la chasse est supérieure de 45 points de pourcentage (test de Kruskal-Wallis, $U = 292,500$, $P = 0,005$; Tableau 27) à celle des femelles du même âge ($\bar{x} = 22 \%$, $n = 27$). Par contre, aucune différence significative n'a été observée (test de Kruskal-Wallis, $U = 721,500$, $P = 0,635$; Tableau 27) entre les mâles et les femelles de plus de 2,5 ans. La mortalité des cerfs mâles de plus de 2,5 ans ($\bar{x} = 26 \%$, $n = 19$) tués à la chasse est inférieure de 41 points de pourcentage (test de Kruskal-Wallis, $U = 200,000$, $P = 0,020$; Tableau 27) à celle des mâles de 1,5 an ($\bar{x} = 67 \%$, $n = 15$) tandis qu'aucune différence significative (test de Kruskal-Wallis, $U = 1069,500$, $P = 0,916$; Tableau 27) n'a été observée chez les femelles.

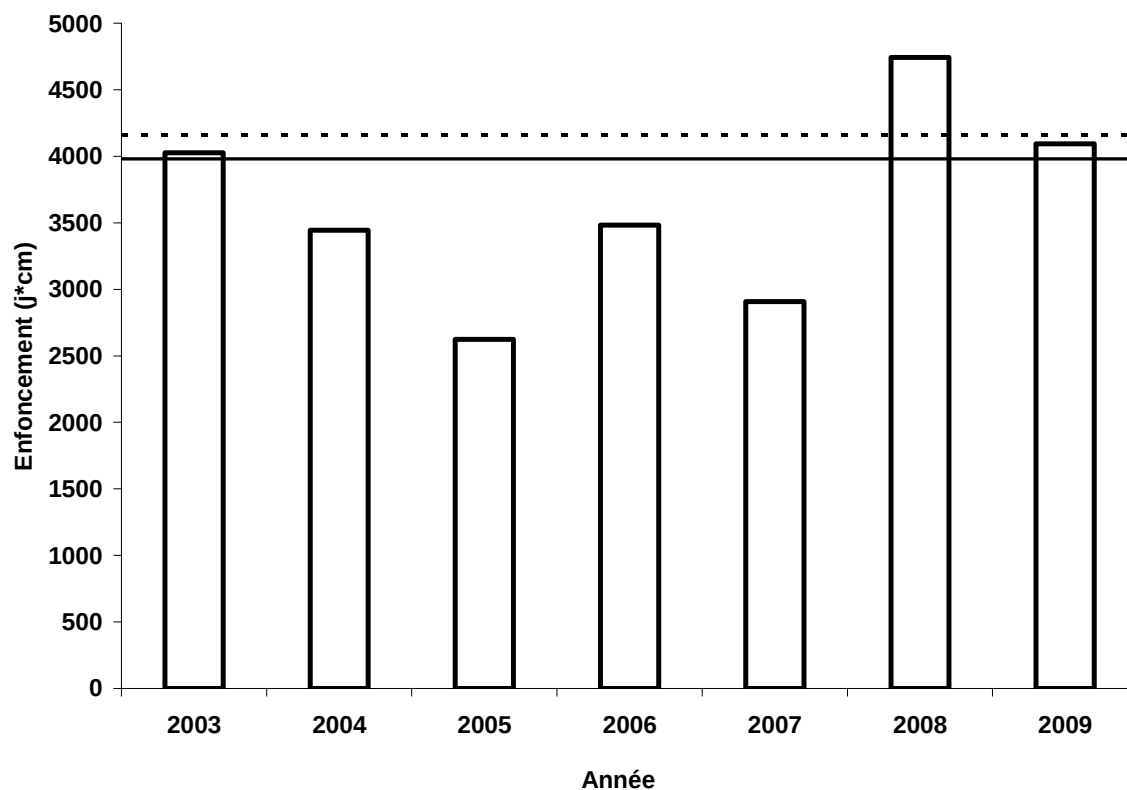


Figure 5. Enfoncement dans la neige selon l'indice NIVA (nombre de jours*cm) dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) entre 2003 et 2009 ainsi que le NIVA moyen pour le Québec (ligne pleine) et la zone 3 Ouest (ligne pointillée) entre 1977 et 2008.

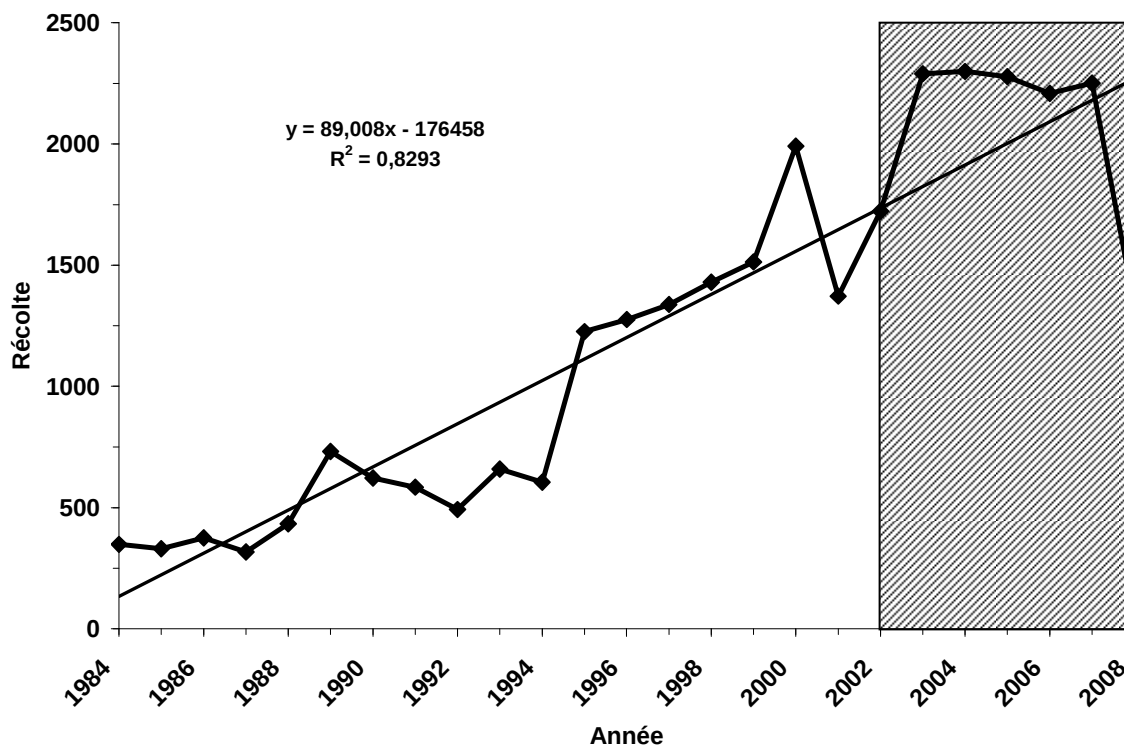


Figure 6. Nombre de cerfs mâles adultes récoltés par la chasse sportive dans la zone 3 au Québec entre 1984 et 2008 ainsi que pour la période d'étude (zone hachurée).

Tableau 1. Âge et sexe des cerfs de Virginie capturés entre 2003 et 2008 dans le ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs qui ont été munis d'un collier radio-émetteur VHF est indiqué entre parenthèses.

	Mâle	Femelle	Indéterminé	Total
Adulte	29 (20)	33 (26)	0	62 (46)
Faon	83 (36)	75 (49)	2 (0)	160 (85)
Indéterminé	0	0	2 (0)	2 (0)
Total	112 (56)	108 (75)	4 (0)	224 (131)

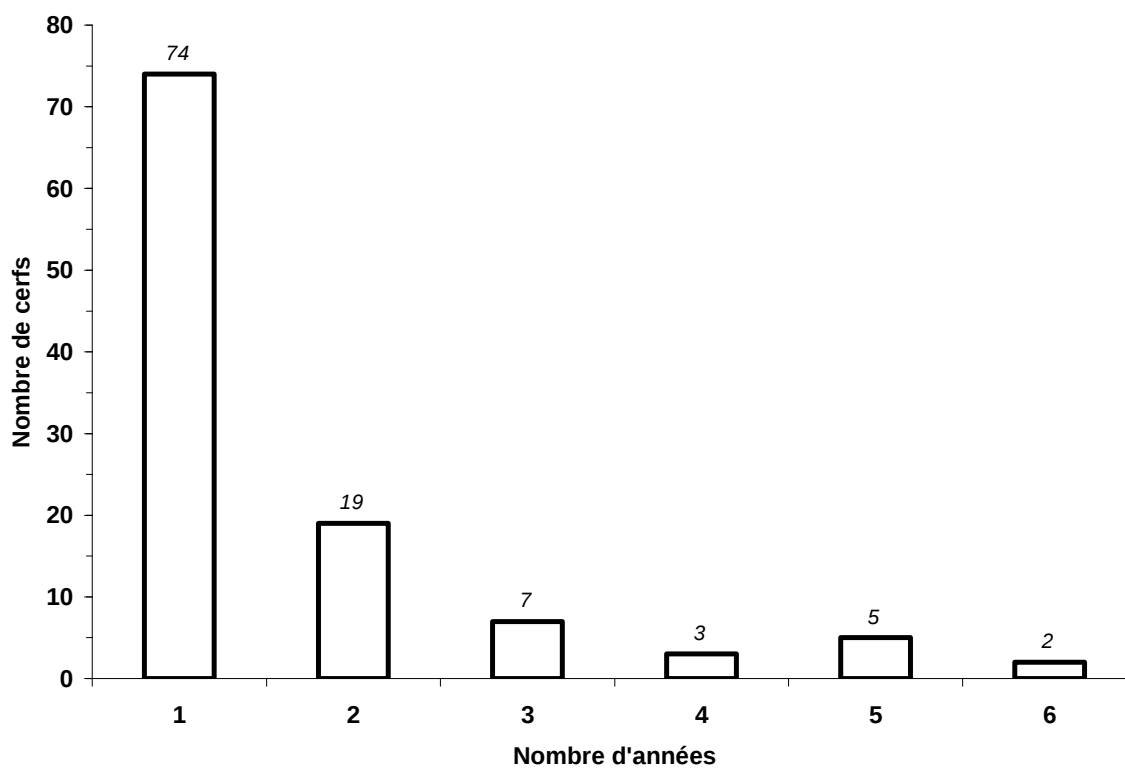


Figure 7. Nombre de cerfs en fonction du nombre d'années de suivi dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Tableau 2. Description du suivi télémétrique dans le ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Année	Nombre de cerfs sous suivi au début de l'année	Date de la première observation	Date de la dernière observation	Nombre de repérages télémétriques		Nombre de localisations moyen par individu	
				Hiver	Été	Hiver	Été
2003	26	21 janv. 2003	16 avril 2003	35	4	20	3
2004	30	8 janv. 2004	15 avril 2004	32	4	25	2
2005	34	11 janv. 2005	31 mars 2005	31	4	24	2
2006	36	10 janv. 2006	31 mars 2006	42	7	25	2
2007	35	9 janv. 2007	29 mars 2007	41	8	25	2
2008	44	7 janv. 2008	24 avril 2008	40	8	28	2
2009	22	6 janv. 2009	2 avril 2009	29	1	27	1

Tableau 3. Nombre de cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur du ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec), dont un minimum de 25 localisations ont été récoltées en hiver, selon l'âge, le sexe et les années.

Année	Mâle		Femelle	
	Faon	Adulte	Faon	Adulte
2003	9	4	4	4
2004	8	7	4	9
2005	2	6	9	14
2006	5	3	9	16
2007	5	4	11	13
2008	5	4	7	23
2009	0	1	0	19
Total	34	29	44	98

Tableau 4. Pourcentage de cerfs ayant fréquenté d'après des relevés de pistes la bordure de l'autoroute ou ayant traversé la nouvelle section de l'autoroute à l'extrémité nord de la zone clôturée dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

Mois	Bordure	Traversée ^a
Janvier	30 (33)	47 (21)
Février	6 (7)	13 (6)
Mars	0 (0)	0 (0)
Avril	18 (20)	22 (10)
Mai	6 (7)	
Juin	1 (1)	
Juillet	4 (4)	
Août	0 (0)	
Septembre	3 (3)	
Octobre	12 (13)	
Novembre	1 (1)	
Décembre	19 (21)	18 (8)
Total	100 (109)	100 (45)

^a En l'absence de neige, les pistes n'ont pas permis de déterminer le nombre de traversées.

Tableau 5. Pourcentage de cerfs de Virginie, par période et par année, ayant fréquenté d'après des relevés de pistes la bordure de la nouvelle section de l'autoroute à l'extrémité nord de la zone clôturée dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

	Année	Total
Pendant	2006	46 (50)
	2007	34 (37)
	Sous-total	80 (87)
Après	2008	3 (3)
	2009	17 (19)
	Sous-total	20 (22)

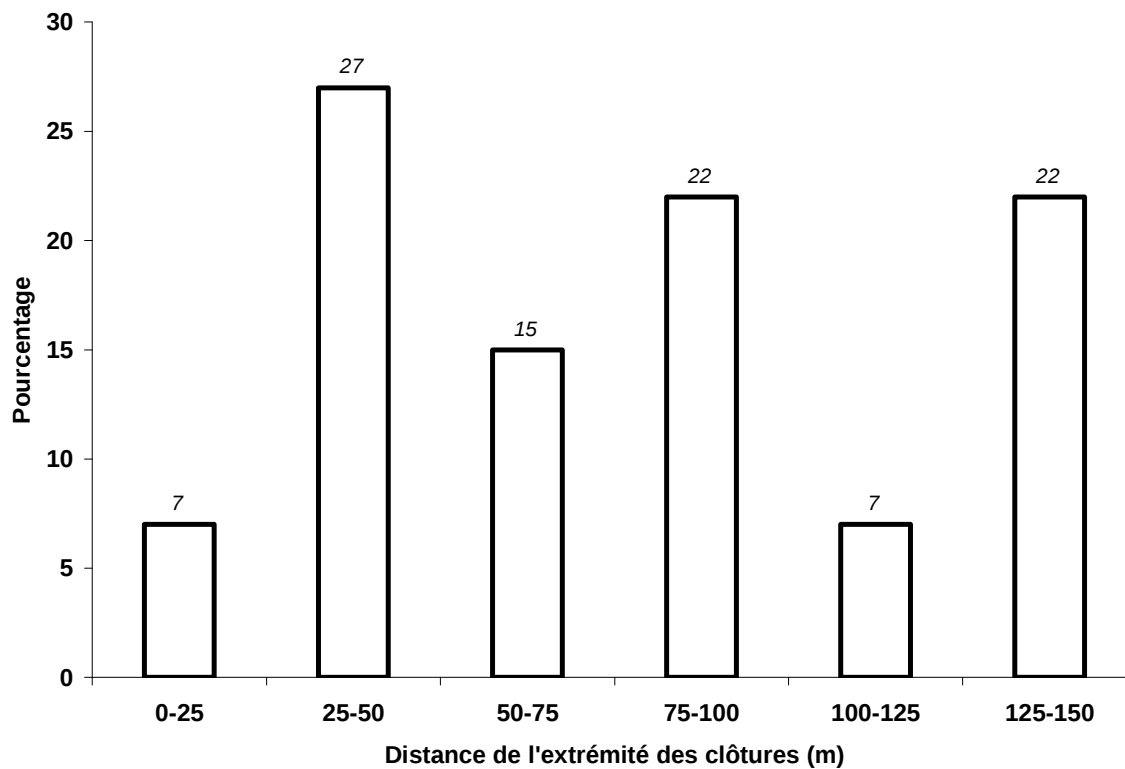


Figure 8. Pourcentage de cerfs de Virginie ($n = 45$) ayant traversé d'après des relevés de pistes la nouvelle section de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) entre 2006 et 2009, en fonction de la distance par rapport à l'extrémité nord des clôtures. Toutes ces traversées ont eu lieu en 2006 et 2007, en l'absence de circulation automobile.

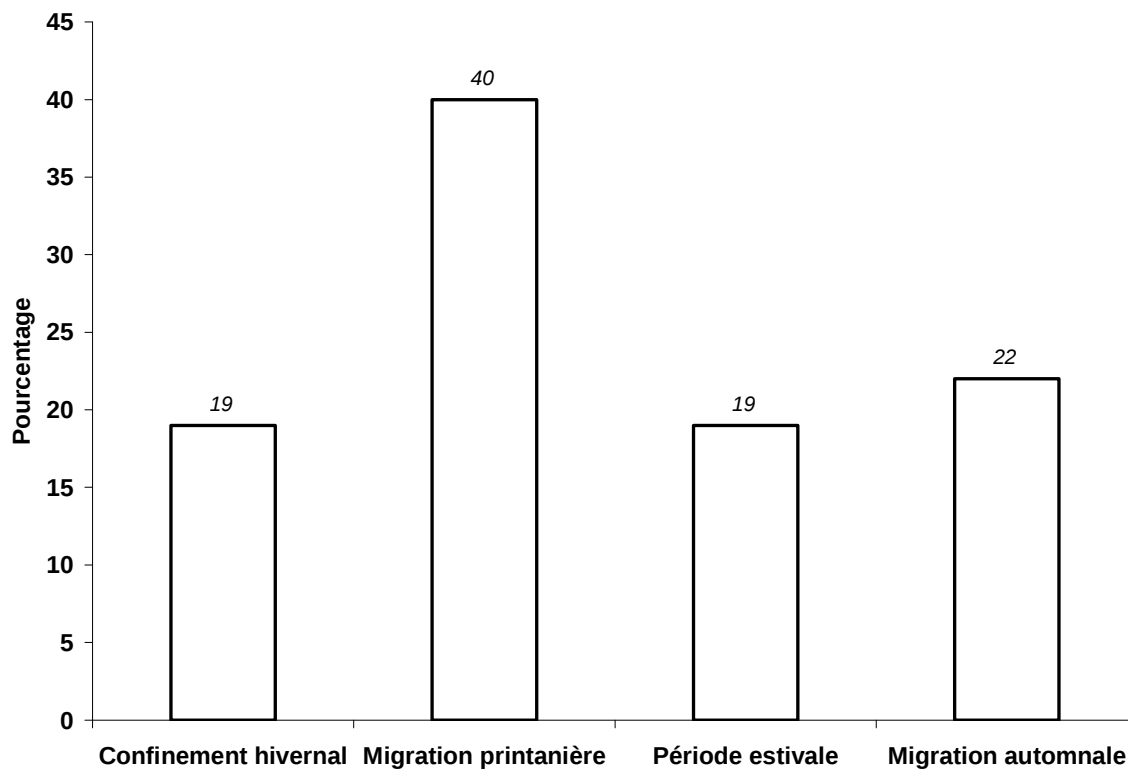


Figure 9. Pourcentage de cerfs de Virginie ($n = 67$) ayant longé d'après des relevés de pistes les clôtures de déviation durant la période de confinement (de janvier à mars), la migration printanière (avril et mai), la période estivale (de juin à octobre) et la migration automnale (novembre et décembre) dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

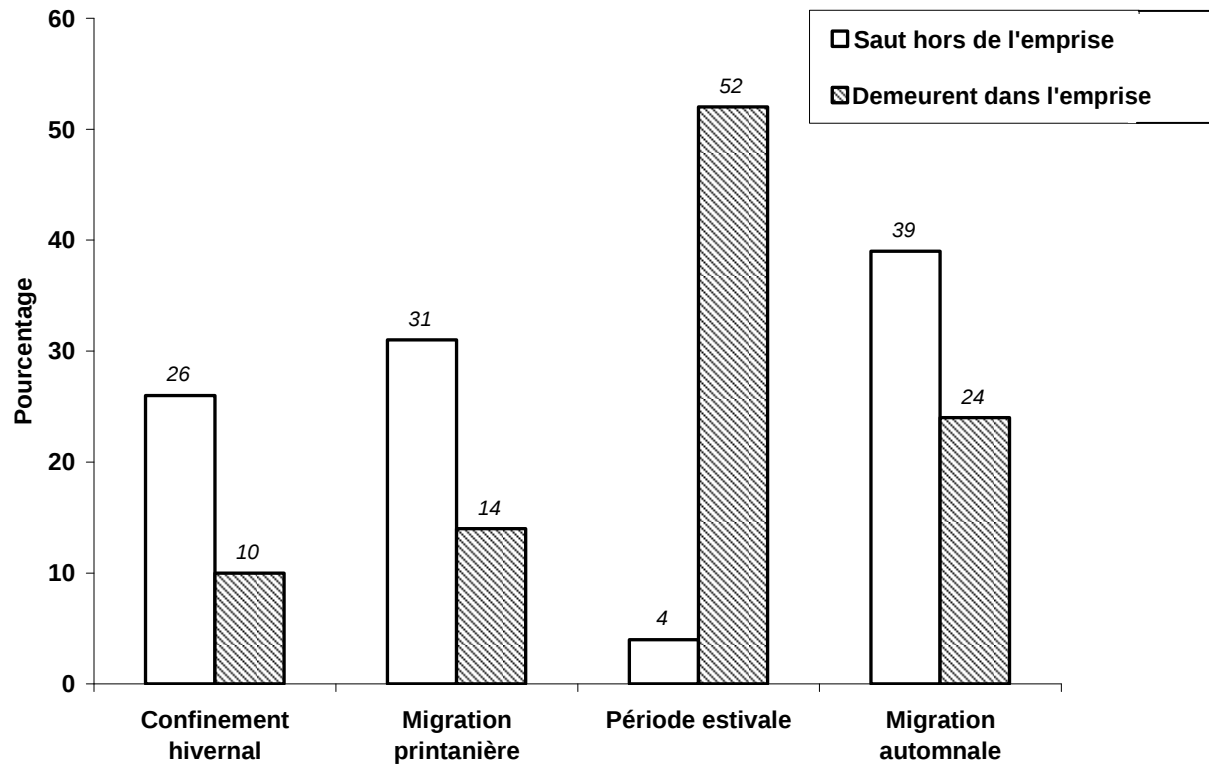


Figure 10. Pourcentage de cerfs de Virginie ($n = 65$) selon leur comportement près des sautoirs d'après des relevés de pistes durant la période de confinement (de janvier à mars), la migration printanière (avril et mai), la période estivale (de juin à octobre) et la migration automnale (novembre et décembre) dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Tableau 6. Pourcentage de cerfs de Virginie, selon le comportement, l'année et la période, ayant fréquenté les sautoirs d'après des relevés de pistes dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

Période	Année	Comportement		Total	NIVA moyen
		Saut hors de l'emprise	Cerf qui demeure dans l'emprise		
Pendant ^a	2006	47 (9)	53 (10)	100 (19)	3482
	2007	12 (4)	88 (29)	100 (33)	2908
	Sous-total	25 (13)	75 (39)	100 (52)	3195
Après	2008	82 (9)	18 (2)	100 (11)	4744
	2009	50 (1)	50 (1)	100 (2)	4095
	Sous-total	77 (10)	23 (3)	100 (13)	4420

^a Pendant les travaux, il n'y avait pas de circulation routière.

Tableau 7. Pourcentage de cerfs de Virginie ayant fréquenté d'après des relevés de pistes les différentes structures de franchissement et caractéristiques de celles-ci dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

Structure de franchissement	Largeur et hauteur (m)	Utilisation humaine	Présence de cerfs entre 1999 et 2002 ^b	% (n)
Doyon	10 x 5,5	Moyenne	Moyenne	10 (176)
Rivière Calway	120 x 11	Faible	Forte	32 (538)
Route Calway	27 x 5,5	Forte	Moyenne	8 (143)
Chemin de la carrière ^a	18 x 7	Forte	Moyenne	4 (75)
Rivière des Plante ^a	177 x 14	Faible	Faible	46 (774) ^c
Total				100 (1706)

^a Structures doubles

^b Selon Tecsalt Environnement Inc., 2002

^c Le suivi a débuté à l'été 2007.

Tableau 8. Pourcentage de cerfs de Virginie, par mois, ayant fréquenté d'après des relevés de pistes les différentes structures de franchissement dans le ravage de la rivière Calway entre 2006 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

Mois	Doyon	Rivière Calway	Route Calway	Chemin de la Carrière	Rivière des Plante ^a	Total
Janvier	14 (25)	15 (80)	16 (23)	54 (40)	19 (147)	18 (315)
Février	3 (6)	6 (32)	0 (0)	7 (5)	16 (124)	10 (167)
Mars	3 (6)	7 (38)	0 (0)	5 (4)	20 (158)	12 (206)
Avril	6 (11)	15 (82)	16 (23)	9 (7)	23 (179)	18 (302)
Mai	18 (32)	15 (82)	31 (45)	8 (6)	5 (37)	12 (202)
Juin	5 (9)	3 (15)	1 (2)	0 (0)	2 (14)	2 (40)
Juillet	9 (16)	4 (22)	3 (5)	0 (0)	4 (34)	5 (77)
Août	8 (14)	2 (10)	3 (4)	0 (0)	1 (6)	2 (34)
Septembre	6 (11)	5 (26)	2 (3)	0 (0)	4 (28)	4 (68)
Octobre	6 (11)	9 (51)	5 (7)	0 (0)	2 (12)	5 (81)
Novembre	4 (7)	5 (26)	10 (14)	0 (0)	3 (21)	4 (68)
Décembre	16 (28)	14 (74)	12 (17)	17 (13)	2 (14)	9 (146)
Total	100 (176)	100 (538)	100 (143)	100 (75)	100 (774)	100 (1706)

^a Le suivi a débuté à l'été 2007.

Tableau 9. Superficie moyenne, déterminée par inventaires aériens, et pourcentage de recouvrement du ravage de cerfs de Virginie de la rivière Calway par période entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Période	Superficie moyenne (km ²)	Recouvrement (% commun)
Avant Hiver 2003 et 2004	29,2	56,9 (Avant/Après)
Pendant Hiver 2005, 2006 et 2007	22,1	57,9 (Avant/Pendant)
Après Hiver 2008 et 2009	25,5	61,3 (Pendant/Après)

Tableau 10. Pourcentage de cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF ayant leur domaine vital à l'est, à l'ouest ou des deux côtés de la nouvelle section de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway, par période, entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

	Avant	Pendant	Après
Est	25 (12)	14 (14)	12 (7)
Ouest	4 (2)	23 (22)	42 (24)
Est-Ouest	71 (35)	63 (61)	46 (26)
Total	100 (49)	100 (97)	100 (57)

Tableau 11. Moyenne de la superficie des domaines vitaux hivernaux, calculée à partir d'un MCP 95 %, par période et par année, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Période	Année	Superficie (km ²)	Nombre	Erreur type
Avant	2003	1,29	21	0,25
	2004	1,30	28	0,34
	Période	1,29	49	0,22
Pendant	2005	1,30	31	0,18
	2006	1,34	33	0,24
	2007	3,20	33	0,86
	Période	1,96	97	0,32
Après	2008	1,24	39	0,19
	2009	2,79	19	0,97
	Période	1,75	58	0,35

Tableau 12. Moyenne de la superficie des domaines vitaux hivernaux, calculée à partir d'un MCP 95 % (*Minimum Convex Polygon*), en présence ou en l'absence de la route dans le domaine vital de l'animal, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2005 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Route	Superficie (km ²)	Nombre	Erreur type
Présence	2,44	88	0,39
Absence	1,19	66	0,17

Tableau 13. Probabilités des effets aléatoires, fixes et de la covariable pour tous les tests de modèle linéaire général mixte (MLGM).

Analyse	Année	Effet aléatoire Identification cerf	Effets fixes							Covariable NIVA
			Sexe	Âge	Période	Année	État migrateur	Localisation du domaine vital	Présence de la route	
Taille des domaines vitaux hivernaux	2003-2009	< 0,001	0,697	0,193		0,012	0,023			
	2003-2009	< 0,001	0,693	0,313	0,449		0,037			
	2003-2009	< 0,001	0,706	0,347	0,272		0,036			0,145
	2003-2004	0,121	0,110	0,146		0,739	0,993	0,738		
	2005-2009	< 0,001	0,200	0,427		0,002	0,009	0,001		
	2005-2009	< 0,001	0,349	0,319		0,001	0,014		0,001	
	2005-2009	< 0,001	0,363	0,564			0,027		0,016	
Fidélité aux domaines vitaux hivernaux	2003-2009	< 0,001	0,223	0,649	0,325		0,440			
	2005-2009	< 0,001	0,370	0,737		< 0,001	0,153		0,164	
Distance de migration pour les domaines vitaux estivaux	2003-2009	< 0,001	0,106	0,131	0,407					
Fidélité aux domaines vitaux estivaux	2003-2009	0,002	0,557	0,197	0,199		0,375			

Tableau 14. Pourcentage de recouvrement entre les domaines vitaux hivernaux, calculé à partir d'un MCP 95 % (*Minimum Convex Polygon*), par période, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Période	% de recouvrement	Nombre	Erreur type
Avant	22	7	17,5
Pendant	23	26	21,4
Après	27	27	17,2

Tableau 15. Superficie des aires de distribution estivales, calculée à partir d'un MCP 95 % (*Minimum Convex Polygon*), et pourcentage de recouvrement, par période (relativement à la construction de la route) et par année, des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Période	Année	Superficie (km ²)	Nombre	Superficie de recouvrement (km ²)	Recouvrement (% commun)
Avant	2003	775	12		
	2004	721	26	625	71,8
	Période	748	38	254 (Avant/Après)	27 (Avant/Après)
Pendant	2005	815	28	718	87,8
	2006	478	25	477	58,5
	2007	530	32	433	75,3
	Période	608	85	543 (Avant/Pendant)	67 (Avant/Pendant)
Après	2008	666	32	519	76,7
	2009	124	19	124	18,6
	Période	395	51	288 (Pendant/Après)	40 (Pendant/Après)

Tableau 16. Pourcentage des cerfs de Virginie résidents, intermédiaires et migrants, par période, pour les cerfs porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

	Avant	Pendant	Après
Résident	38 (15)	37 (33)	41 (22)
Intermédiaire	24 (9)	34 (31)	35 (19)
Migrateur	38 (15)	29 (26)	24 (13)
Total	100 (39)	100 (90)	100 (54)

Tableau 17. Pourcentage des cerfs de Virginie selon l'âge et le sexe, par période, pour les cerfs porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

	Mâle	Femelle	Faon	Adulte
Avant	57 (28)	43 (21)	51 (25)	49 (24)
Pendant	26 (25)	74 (72)	42 (41)	58 (56)
Après	17 (10)	83 (49)	20 (12)	80 (47)

Tableau 18. Distance moyenne de migration pour les domaines vitaux estivaux, selon la période et l'année, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Période	Année	Distance (km)	Nombre	Erreur type
Avant	2003	14,17	12	4,0
	2004	7,34	26	2,5
	Période	9,50	38	2,2
Pendant	2005	7,48	28	1,9
	2006	6,44	25	2,8
	2007	5,19	32	1,6
	Période	6,31	85	1,2
Après	2008	4,63	32	1,4
	2009	2,96	19	1,1
	Période	4,01	51	1,0

Tableau 19. Distance entre les localisations d'été, par période, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Période	Distance (km)	Nombre	Erreur type
Avant	1,35	7	0,7
Pendant	1,13	25	0,3
Après	0,69	18	0,2

Tableau 20. Nombre d'accidents routiers rapportés impliquant des cerfs de Virginie dans des sections de routes situées dans ou à moins de 500 m des limites de quatre ravages de la région de Chaudière-Appalaches (de 2005 à 2007) et dans le prolongement de l'autoroute 73 dans le ravin de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) au cours des deux premières années d'exploitation. Source : Le Diagnostic de sécurité routière

Ravage	Nombre de km linéaires de la route principale (numéros de route)	Nombre d'accidents déclarés	Nombre d'accidents par km par an	Trafic (Débit journalier moyen annuel ^a)
Saint-Malachie	13,5 (277)	81	2,0	2000
Rivière Famine	11,5 (204)	65	1,88	7000
Armstrong	20,9 (173)	58	0,93	de 600 à 1 700
Saint-Gédéon	24,2 (204)	83	1,14	de 2 400 à 3 600
Prolongement autoroute 73	10,5 (73)	4	0,19	6 000

^a Ministère des Transports du Québec, Direction de la Chaudière-Appalaches, données non publiées.

Tableau 21. Nombre d'accidents routiers impliquant des cerfs de Virginie selon le Diagnostic de sécurité routière (DSR) dans des sections de quatre routes de la région de Chaudière-Appalaches (de 2005 à 2007) et dans le prolongement de l'autoroute 73 dans le ravage de la rivière Calway (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec) au cours des deux premières années d'exploitation.

Route	Nombre de km linéaires	Nombre d'accidents	Nombre d'accidents par km par an	Trafic (Débit journalier moyen annuel ^a)
Autoroute 73	60,6	209	1,15	de 8 600 à 16 100
Route 173	144	199	0,46	de 3 700 à 12 000
Réseau routier supérieur de la Chaudière-Appalaches	2 800	3 165	0,38	Variable
Prolongement autoroute 73	10,5	4	0,19	6 000

^a Ministère des Transports du Québec, Direction de la Chaudière-Appalaches, données non publiées.

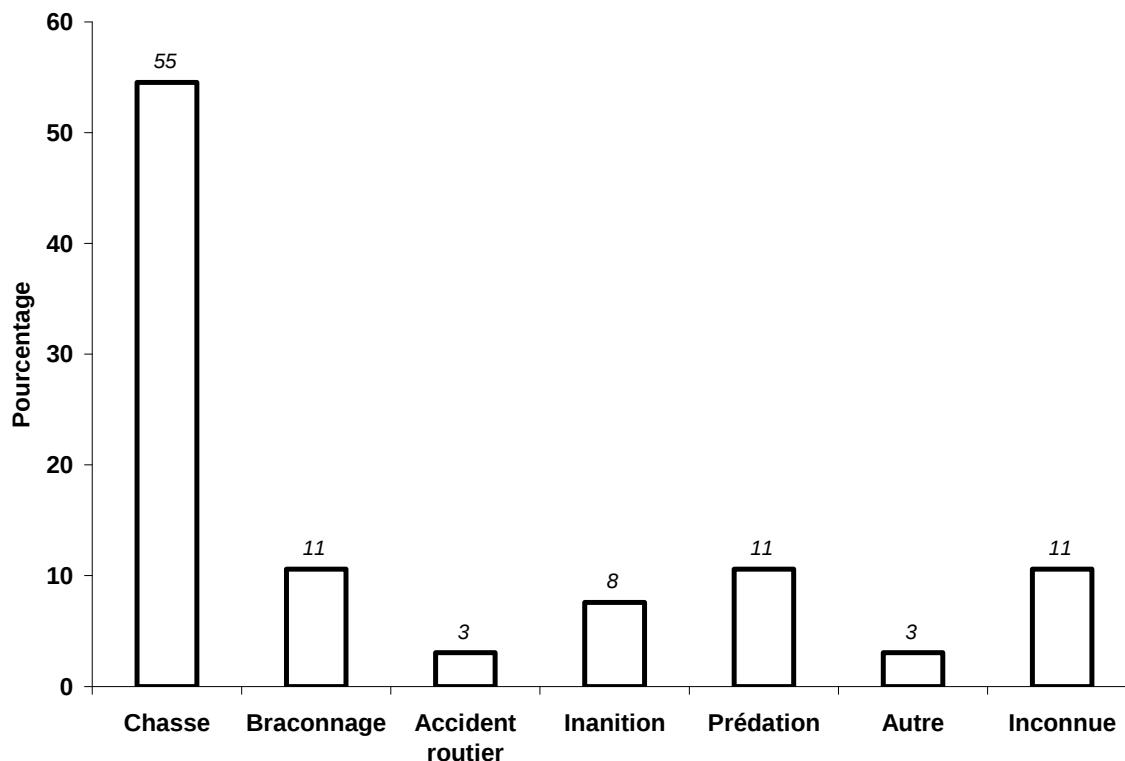


Figure 11. Importance relative (pourcentage) des différentes causes de mortalité des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF ($n = 66$) dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec).

Tableau 22. Taux de mortalité moyen, par période, causé par la chasse et le braconnage ou par la somme des autres causes, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

Période ^a	Nombre d'années	Chasse et braconnage	Autres causes	Total
Avant (38)	2	24 (9)	18 (7)	42 (16)
Pendant (89)	3	27 (24)	9 (8)	36 (32)
Après (38)	2	21 (8)	22 (8)	43 (16)
Total (165)	7	25 (41)	14 (23)	39 (64)

^a Le nombre entre parenthèses représente tous les cerfs porteurs d'un collier émetteur dont la cause de mortalité était connue à la fin de la période.

Tableau 23. Taux de mortalité annuels selon les différentes causes de mortalité, par période, pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

	Avant (38)	Pendant (89)	Après (38)
Chasse	24 (9)	20 (18)	18 (7)
Braconnage	0 (0)	7 (16)	3 (1)
Route	3 (1)	0 (0)	3 (1)
Inanition	3 (1)	2 (2)	5 (2)
Prédation	3 (1)	1 (1)	13 (5)
Autre	3 (1)	1 (1)	0 (0)
Inconnue	8 (3)	4 (4)	0 (0)

Tableau 24. Taux de mortalité annuels selon le statut et les différentes causes de mortalités pour les cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

	Résident (51)	Migrateur intermédiaire (48)	Grand migrateur (50)	Inconnu (17)
Chasse	24 (12)	25 (12)	40 (20)	0 (0)
Braconnage	4 (2)	4 (2)	2 (1)	6 (1)
Route	0 (0)	2 (1)	0 (0)	6 (1)
Inanition	0 (0)	0 (0)	0 (0)	29 (5)
Prédation	0 (0)	0 (0)	0 (0)	35 (6)
Autre	0 (0)	2 (1)	0 (0)	6 (1)
Inconnue	2 (1)	4 (2)	2 (1)	18 (3)

Tableau 25. Taux de mortalité selon l'année et le sexe des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

Année	Mâle	Femelle	Total
2003	29 (7)	43 (7)	36 (14)
2004	80 (10)	21 (14)	46 (24)
2005	57 (7)	46 (24)	48 (31)
2006	50 (4)	38 (21)	40 (25)
2007	44 (9)	13 (24)	21 (33)
2008	86 (7)	25 (28)	37 (35)
Total	59 (44)	30 (119)	38 (162)

Tableau 26. Taux de mortalité annuels selon les différentes causes de mortalité, l'âge et le sexe des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

	Cerfs sans bois				Cerfs avec bois
	Femelle adulte (102)	Femelle faon (35)	Mâle faon (19)	Tous (156)	Mâle adulte (26)
Chasse	14 (14)	14 (5)	47 (9)	18 (28)	19 (5)
Braconnage	4 (4)	6 (2)	5 (1)	4 (7)	0 (0)
Route	0 (0)	6 (2)	0 (0)	1 (2)	0 (0)
Inanition	1 (1)	9 (3)	0 (0)	3 (4)	4 (1)
Prédation	1 (1)	3 (1)	16 (3)	3 (5)	8 (2)
Autre	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	8 (2)
Inconnue	2 (2)	6 (2)	5 (1)	3 (5)	8 (2)
Total	22 (22)	43 (15)	74 (14)	33 (51)	46 (12)

Tableau 27. Taux de mortalité causé par la chasse des cerfs de Virginie porteurs d'un collier émetteur VHF selon l'âge et le sexe dans le ravage de la rivière Calway entre 2003 et 2009 (Saint-Joseph-de-Beauce, Québec). Le nombre de cerfs est indiqué entre parenthèses.

Année	Mâle			Femelle		
	1,5 an	≥ 2,5 ans	Tous	1,5 an	≥ 2,5 ans	Tous
2003	0 (0)	33 (1)	14 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
2004	100 (5)	40 (2)	70 (7)	0 (0)	11 (1)	8 (1)
2005		25 (1)	25 (1)	50 (3)	33 (5)	38 (8)
2006	100 (1)	0 (0)	33 (1)	25 (1)	38 (6)	35 (7)
2007	60 (3)	0 (0)	25 (3)	13 (1)	13 (2)	13 (3)
2008	100 (1)	50 (1)	75 (2)	25 (1)	14 (3)	14 (4)
Total	67 (10)	26 (5)	42 (15)	22 (6)	21 (17)	21 (23)

6. Discussion

Les aménagements réalisés dans le but de diminuer l'impact du nouveau tronçon routier sur les cerfs du ravage de la rivière Calway et d'assurer la sécurité des usagers de la route ont été un succès. Quoique des améliorations soient envisagées, les cerfs ont généralement bien réagi à ces installations. Les données récoltées durant l'étude ont permis de répondre aux cinq questions qui ont orienté notre recherche, soit les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures aménagées le long de celle-ci sur les patrons d'utilisation du ravage, les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur la proportion de cerfs résidents et de cerfs migrants dans le ravage, les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur le patron de migration, l'efficacité des aménagements relativement à la sécurité routière et leur utilisation par les cerfs, et finalement les effets de la présence de l'autoroute sur la mortalité des cerfs.

Tant au chapitre de la rigueur de l'hiver qu'à celui de l'abondance des populations, seule l'année 2008 diffère de façon marquée des autres années de la période d'étude. Cette différence est prise en compte dans l'interprétation des résultats.

6.1 Quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures aménagées le long de celle-ci sur les patrons d'utilisation du ravage?

Les études antérieures ont montré que les cerfs de Virginie sont très fidèles à leur ravage (Nelson et Mech 1981; Etter *et al.*, 2002). Les composantes de ces habitats sont spécifiques et ne se retrouvent pas partout dans le paysage (Germain *et al.*, 1991; Morrison *et al.*, 2003; Jenkins *et al.*, 2007). Pendant la durée de notre étude, la superficie de même que le pourcentage de recouvrement du ravage de la rivière Calway n'ont pas changé d'une année à l'autre. Ce pourcentage a varié entre 57 et 61 % et est semblable à ce qui a été remarqué dans les Adirondacks (Hurst et Porter, 2008). Étant donné que l'abondance de la population est demeurée relativement stable, cela indique une grande fidélité des cerfs au ravage. Chaque hiver, une forte proportion (entre 83 et 95 %) des cerfs est revenue au ravage de la rivière Calway. Ce pourcentage élevé confirme la grande fidélité des cerfs à leur habitat hivernal dans les régions nordiques (Tiersen *et al.*, 1985; Lesage *et al.*, 2000).

En plus de la fidélité à leur ravage, les cerfs montrent une fidélité, bien qu'elle soit moindre, à leurs domaines vitaux hivernaux respectifs (Nelson et Mech, 1981; Tierson *et al.*, 1985; Lesage *et al.*, 2000). Les différences interannuelles observées dans le domaine vital hivernal des cerfs pourraient être liées à plusieurs facteurs, dont l'épaisseur de la neige et la modification de l'habitat (Tierson *et al.*, 1985). Au cours de l'étude, la fidélité des cerfs à leur domaine vital n'a pas été ébranlée par la présence de l'autoroute. Que ce soit avant, pendant ou après sa construction, ils ont toujours occupé une proportion semblable de leur domaine vital d'un hiver à l'autre (Tableau 14). Le même phénomène a été observé au Montana où des wapitis sont restés fidèles à leur domaine vital malgré l'augmentation du dérangement humain (Edge *et al.*, 1985).

Bien que les cerfs soient restés fidèles à leur habitat hivernal, une différence a été observée dans le mode d'occupation du ravage entre les trois périodes de l'étude, une différence qui semble démontrer une préférence des animaux pour une portion du ravage. Ainsi, avant la construction de l'autoroute, près de la moitié des cerfs porteurs d'un collier occupait l'habitat sur le site de la future autoroute et leur domaine vital s'étendait de part et d'autre de cette dernière. Étant donné que l'effort de capture par rapport à l'emplacement de l'autoroute a été constant tout au long de l'étude, la sélection pour le côté ouest à la suite de la construction de la route semble montrer une préférence des cerfs pour cette portion du ravage. Par conséquent, la crainte que l'autoroute produise un effet de barrière et que les animaux délaissent la partie ouest du ravage ne s'est pas matérialisée.

Lorsque les cerfs reviennent au ravage au moment de la migration automnale, ils doivent traverser l'autoroute pour se rendre du côté ouest, ce qui engendre une contrainte et un risque supplémentaire. Selon nos observations, les cerfs sélectionnent le côté en apparence le plus contraignant, probablement parce que celui-ci offre un habitat de meilleure qualité. La fidélité des cerfs à leur domaine vital pourrait également entrer en jeu. Par ailleurs, une grande partie des cerfs qui ont été suivis sur plus d'une période ont changé l'emplacement de leur domaine vital pour sélectionner le côté ouest, ce qui laisse de nouveau supposer que l'habitat y serait plus favorable. Une étude du ravage de la rivière Calway effectuée en 2003 a d'ailleurs démontré que les peuplements forestiers compris dans la partie ouest sont de meilleure qualité pour les cerfs (Hébert, 2003). L'exposition au soleil, plus favorable du côté ouest, pourrait aussi être en cause. La sélection de lieux qui offrent de meilleures conditions d'ensoleillement a été observée chez

plusieurs populations de cerfs de Virginie qui vivent dans des régions où il y a de fortes accumulations de neige en hiver (Huot, 1974; Armstrong *et al.*, 1983).

Une sélection qui privilégie le côté ouest pourrait conduire à une augmentation de la densité de cerfs dans cette partie du ravage. Ce phénomène pourrait avoir des effets négatifs sur la qualité de l'habitat à moyen et à long terme en causant une dégradation accélérée de la végétation (Cooke et Farrell, 2001; Côté *et al.*, 2004).

Les cerfs ne semblent pas hésiter à utiliser les structures de franchissement mises en place et à traverser l'autoroute pour aller du côté ouest lorsqu'ils entrent dans le ravage en décembre et janvier (Tableau 8). Par contre, ils semblent réticents à les utiliser plus tard durant l'hiver. Le couvert forestier à proximité immédiate des structures est quasi absent, ce qui a pour effet d'amplifier l'accumulation de neige et de rendre les déplacements plus contraignants pour les cerfs. Franchir les structures, localisées dans un milieu ouvert où la quantité de neige est plus importante, implique un risque et entraîne un coût énergétique plus élevé pour les animaux. De plus, le bruit occasionné par la circulation automobile sous les structures constitue sans doute un autre facteur dissuasif. La plupart des cerfs dont le domaine vital est situé de part et d'autre de l'autoroute n'ont fait qu'une seule traversée pendant l'hiver et ceux qui ont utilisé les structures de franchissement à maintes reprises l'ont fait surtout au pont de la rivière des Plante (Tableau 8). Par conséquent, les passages à faune se sont avérés généralement moins efficaces pour favoriser les déplacements au cours de la période de confinement hivernal.

La présence d'une route peut également avoir un impact négatif sur les animaux à une échelle plus fine. Par exemple, une diminution de la taille des domaines vitaux des wapitis a été observée à la suite du retrait de la circulation automobile (Cole *et al.*, 1997). Au cours de notre étude, la taille moyenne des domaines vitaux n'a pas changé avant, pendant et après la construction de l'autoroute (Tableau 11 et Tableau 13). La superficie moyenne du domaine vital hivernal est même restée relativement stable d'une année à l'autre, à l'exception de 2007 et de 2009, et s'avère similaire à celle relevée ailleurs en Amérique du Nord (Larson *et al.*, 1978; Tierson *et al.*, 1985; Lesage *et al.*, 2000). L'autoroute ne semble donc pas avoir eu d'effet négatif sur cette variable à l'échelle de la population de cerfs. Tout comme pour le ravage de la rivière Calway, une étude réalisée sur une population de cerfs de Virginie en Floride n'a pas permis de déceler de

modification de la taille moyenne des domaines vitaux des animaux à la suite de l'installation de clôtures et de structures de franchissement (Braden *et al.*, 2008).

Néanmoins, si l'on observe les cerfs du ravage de la rivière Calway individuellement, on constate que ceux qui partagent leur domaine vital avec la nouvelle autoroute occupaient une superficie plus de deux fois plus grande que les cerfs dont la route ne traverse pas le domaine vital (Tableau 12 et Tableau 13). Cette différence n'est pas simplement due à la perte d'habitats causée par la route puisque cette dernière ne représente en moyenne que 6,7 %, soit environ 0,11 km², du domaine vital.

Ainsi, la présence de la route n'influe pas directement sur l'ensemble de la population de cerfs, mais seulement sur ceux qui sont en contact direct avec la route (principalement la structure de la rivière des Plante) durant l'hiver. Ces cerfs ont une portion d'habitat de mauvaise qualité ou qui n'est pas accessible dans leur domaine vital hivernal, ce qui pourrait engendrer un coût énergétique supplémentaire et peut-être aussi une survie moindre que les autres cerfs, spécialement lors d'hivers rigoureux. Un tel phénomène a d'ailleurs été observé chez une population de wapitis en Oregon (Cole *et al.*, 1997). Cependant, nous n'avons pas observé un taux de mortalité supérieur chez les cerfs suivis par radiotélémétrie à la suite de la construction et de l'ouverture de la route à la circulation (Tableau 22). La route a entraîné une augmentation de la taille du domaine vital hivernal à la rivière des Plante et la formation de deux domaines vitaux là où les autres structures ont été aménagées. Ces effets, observés au cours de l'étude, ont peut-être des conséquences négatives sur les coûts énergétiques et la survie des cerfs, mais notre étude ne peut le confirmer catégoriquement. Des recherches devront être faites pour tenter d'élucider cette question.

6.2 Quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur la proportion de cerfs résidents et de cerfs migrants dans le ravage?

La proportion de cerfs résidents à l'année dans le ravage n'a pas changé à la suite de la construction de l'autoroute. Par conséquent, la route ne semble pas être une barrière pour les cerfs lors des migrations. Au cours de l'étude, environ 40 % des cerfs se sont avérés des résidents à l'année du ravage, un pourcentage similaire à celui qui a été observé ailleurs en Amérique du Nord (Sabine *et al.*, 2002; Fieberg *et al.*, 2008; Nixon *et al.*, 2008).

6.3 Quels sont les effets de la présence de l'autoroute et des clôtures sur le patron de migration?

Généralement, les cerfs d'un même ravage migrent dans le même secteur en été (Tierson *et al.*, 1985; Nelson et Mech, 1981). La superficie de l'aire de distribution estivale de même que le pourcentage de recouvrement de cette aire d'une année à l'autre pour les cerfs de la rivière Calway sont restés assez stables (Tableau 15). De plus, la présence d'une nouvelle route n'a pas semblé influencer sur le lieu de migration des cerfs. Ceux-ci parcourent la même distance (Tableau 18) et migrent aux mêmes sites (Tableau 19) chaque année. Le lieu de migration estivale semble être important pour les cerfs. Il a d'ailleurs été démontré que la fidélité des cerfs à leur domaine vital estival est plus importante que celle qu'ils montrent à l'égard de leur domaine vital hivernal (Tierson *et al.*, 1985).

La rivière Chaudière semble représenter une barrière à la dispersion des cerfs puisque durant les sept années de l'étude, aucun cerf porteur d'une étiquette ou d'un collier n'a été retrouvé de l'autre côté de la rivière, pourtant située à moins d'un ou deux kilomètres par endroits (Figure 2). Paradoxalement, deux cerfs capturés dans le ravage de la rivière Calway ont été victimes d'accidents routiers à Sainte-Anne-de-Beaupré, soit à environ 85 km de notre aire d'étude; ces derniers avaient donc traversé le fleuve Saint-Laurent, un cours d'eau beaucoup plus large et imposant que la rivière Chaudière.

L'autoroute ne semble donc pas avoir modifié le patron de migration des cerfs vers leurs domaines vitaux estivaux. Cependant, l'amplitude des déplacements des cerfs qui ont été suivis durant l'étude a été très variable (Tableau 18), ce qui a pour conséquence une faible puissance statistique dans l'identification des effets significatifs avec les tailles échantillons associées à notre étude.

6.4 Quelle est l'efficacité des aménagements relativement à la sécurité routière et quelle est leur utilisation par les cerfs?

Toutes les infrastructures aménagées pour les cerfs ont été utilisées à des degrés de fréquentation et d'utilisation temporelle variables. La clôture à cervidés a démontré son efficacité, aucune intrusion n'ayant été observée. Quant aux clôtures de déviation, elles ont été utilisées six fois plus souvent pour retourner en forêt que pour aller vers la route. Elles ont donc été très efficaces. De plus, ces aménagements n'étant pas trop onéreux, il

serait souhaitable de les intégrer aux futurs projets, dans la mesure où la tenure et l'occupation des terres le permettent.

Malgré toutes les précautions prises, quelques cerfs se sont quand même introduits dans l'emprise par l'extrémité des clôtures. Étant donné que ce phénomène est pratiquement impossible à empêcher, il est important de déterminer les périodes les plus à risques pour réagir le plus rapidement possible lorsque la situation se présente. Les cerfs ont fréquenté les abords de l'autoroute principalement en janvier, peu importe le côté d'où ils venaient et la direction qu'ils prenaient. Les traversées ont également été plus fréquentes au cours de ce mois dans la période précédant la mise en service de l'autoroute (Tableau 4). Par conséquent, il est essentiel de sensibiliser les conducteurs au risque de collisions durant le mois de janvier, de même qu'en décembre et en avril, deux mois au cours desquels le taux de fréquentation des bordures de l'autoroute est également plus élevé (Tableau 4).

En décembre et en janvier, au début de l'hiver, les cerfs sont en bonne condition et l'épaisseur de neige est généralement peu importante. Certains cerfs n'ont pas terminé leur migration vers leur habitat d'hiver (Fieberg *et al.*, 2008; Nixon *et al.*, 2008), ce qui pourrait expliquer le nombre de déplacements pendant cette période. Le moins grand nombre de cerfs ayant fréquenté les abords de l'autoroute au cours de l'hiver 2008 (Tableau 5) peut, par ailleurs, s'expliquer par l'épaisseur de neige lors de cet hiver particulièrement rigoureux. En avril, l'épaisseur de neige a beaucoup diminué. Les cerfs se déplacent de nouveau sur de plus grandes distances et commencent même leur migration en direction de leur domaine vital estival (Nelson et Mech, 1981; Brinkman *et al.*, 2005; Nixon *et al.*, 2008). Les panneaux de signalisation devraient par conséquent être en fonction en décembre, janvier et avril. Afin d'augmenter leur efficacité, il est suggéré que ces panneaux ne soient pas en fonction toute l'année (Pojar *et al.*, 1975). Ils ne devraient être allumés qu'au besoin durant les périodes critiques.

Les sautoirs ont été utilisés avec succès par les cerfs qui sont entrés dans l'emprise clôturée. Ce succès a été très élevé en 2008 et 2009 après l'ouverture de la route à la circulation. On a observé que les cerfs ont utilisé davantage les sautoirs durant les périodes où il pouvait y avoir de la neige au sol que durant la période estivale (Figure 10). Nos données ne nous permettent pas de connaître avec certitude lequel des deux facteurs, la présence de neige ou la circulation, pousse les cerfs à franchir plus volontiers

les sautoirs. Les deux années où l'autoroute était ouverte à la circulation ont aussi été celles où les hivers étaient les plus rigoureux (Tableau 6). Si la présence de neige s'avère le principal facteur pour augmenter l'efficacité de ces structures, il serait important de poursuivre l'expérimentation afin de les rendre plus efficaces.

Il n'est pas facile de trouver les facteurs qui incitent les cerfs à utiliser les sautoirs. Néanmoins, on peut noter que le taux de succès observé au cours de notre étude pour le cerf de Virginie n'est pas aussi élevé que celui enregistré ailleurs pour le cerf mulet (*Odocoileus hemionus*) dans des milieux ouverts (Bissonette et Hammer, 2000).

De manière générale, les cinq structures de franchissement ont été fréquentées par les cerfs. Le pont de la rivière Calway ainsi que celui de la rivière des Plante ont été les deux structures les plus utilisées. Ces constats démontrent que les ponts simples (rivière Calway) ou doubles (rivière des Plante) constituent des mesures d'atténuation efficaces pour favoriser le passage des cerfs en période de migration. L'emplacement et les caractéristiques (largeur, hauteur, longueur et utilisation humaine) des structures sont cependant d'importantes variables à prendre en compte avant leur construction (Singer et Doherty, 1985; Foster et Humphrey, 1995; Clevenger et Waltho, 2005).

Les quatre structures autres que celle de la rivière des Plante ont cependant été moins utilisées en hiver (Tableau 8). Les cerfs les traversent lors des migrations, pour se rendre du côté ouest ou regagner leur habitat estival, mais les fréquentent beaucoup moins durant l'hiver. L'absence de couvert résineux pouvant intercepter la neige ou l'intensité du bruit sous ces structures pourrait être la cause de ce comportement. Il est également possible que les conditions d'habitat dans le secteur environnant ne soient pas aussi favorables qu'ailleurs dans le ravage. Notre étude n'a pas permis d'identifier précisément les causes qui ont mené au délaissement de certaines structures de franchissement en hiver. Il serait donc pertinent de poursuivre les recherches afin de déterminer ces causes et de tenter d'améliorer les structures pour favoriser leur fréquentation et leur utilisation par les cerfs toute l'année.

Contrairement aux autres structures, le pont de la rivière des Plante a été fréquenté principalement au cours de l'hiver et très peu durant les migrations. Ce phénomène peut s'expliquer par la localisation de cette structure. Le pont est situé dans un étranglement du ravage, l'autoroute coupant cet habitat en deux petits secteurs à cet endroit. Malgré les

inconvenients de franchir ce passage en hiver, les cerfs n'ont peut-être pas le choix. Il est possible qu'ils aient de la difficulté à trouver un habitat adéquat d'un côté ou de l'autre de l'autoroute, ce qui les oblige à la traverser pour subvenir à leurs besoins. Durant notre étude, les cerfs étaient tellement nombreux à utiliser ce passage en hiver qu'un sentier a été maintenu, facilitant ainsi leurs déplacements.

Le passage à faune du ruisseau Doyon a été construit dans le but d'offrir aux cerfs un point de traversée à l'extrémité de l'emprise clôturée pour prévenir un éventuel « effet de bout » qui aurait pu présenter un problème de sécurité. En effet, il y a généralement une augmentation des collisions avec les animaux, principalement les cerfs et les wapitis, dans le premier kilomètre à l'extrémité des clôtures installées le long des routes (Forman et Deblinger, 2000; Clevenger *et al.*, 2001). Notre étude ne nous a pas permis de documenter un « effet de bout ». Cependant, l'analyse des pistes n'a été faite que sur une distance de 150 m à partir de l'extrémité des clôtures. Notre conclusion aurait pu être différente si des relevés de pistes avaient été pris au-delà de cette distance.

En raison des limites propres à la méthode des relevés de pistes, nous croyons que l'utilisation des structures de franchissement par les cerfs a été sous-évaluée, principalement pour la route Calway, le chemin de la Carrière et la rivière des Plante. Par contre, nous estimons que ce biais n'influence pas les conclusions de cette partie de l'étude, car les limites de la méthode demeurent similaires entre les structures et dans le temps.

Nous en concluons qu'il est préférable d'éviter de fractionner des ravages, ou tout autre habitat faunique, avec une route. Idéalement, la construction d'une route dans un habitat important pour la faune devrait être évitée. Notre étude a toutefois permis de démontrer qu'il est possible, dans l'éventualité où une telle situation s'impose, de réduire les répercussions négatives pour la faune.

6.5 Quels sont les effets de la présence de l'autoroute sur le taux de mortalité des cerfs?

La présence de la route ne semble pas avoir modifié le taux de mortalité des cerfs. La chasse était toujours la principale cause de mortalité durant notre étude. Parmi les autres causes, un cas a été relié aux blessures causées par un engin de piégeage. Les accidents routiers ont tué seulement deux cerfs. Deux autres sont morts de causes naturelles autres que la prédation et l'inanition, lesquelles touchent en particulier les cerfs dont la condition

physique se dégrade en raison d'hivers difficiles (Pimlott, 1967; Nelson et Mech, 1986; Gese et Grothe, 1995). Ce phénomène a été observé dans le ravage de la rivière Calway alors que 75 % de la mortalité reliée à ces causes est survenue en hiver. Les morts naturelles observées pendant notre étude seraient liées aux conditions hivernales, raison pour laquelle elles ont varié d'une année à l'autre.

Certaines études ont soulevé l'hypothèse selon laquelle les structures de franchissement pourraient représenter des trappes à proies (Little *et al.*, 2002) pour les prédateurs. Durant notre étude, aucune mort par prédation n'est survenue à proximité des structures. Par conséquent, cette hypothèse n'est pas supportée par nos observations.

Les mâles ont eu un taux de mortalité deux fois plus élevé que les femelles (Tableau 25). Cette différence est due au taux de mortalité des mâles d'un an et demi tués à la chasse qui est beaucoup plus élevé que celui des autres groupes, comme cela a déjà été observé ailleurs en Amérique du Nord (Ditchkoff *et al.*, 2001). Le taux de mortalité des cerfs tués à la chasse n'a pas été différent entre les résidents et les migrants (Tableau 24) de même qu'entre les périodes étudiées (Tableau 23). Nos résultats suggèrent donc que la chasse sportive génère une pression importante et généralement stable sur la population de cerfs chaque année dans cette région. Le braconnage est encore une réalité puisqu'il a été une cause notable de mortalité particulièrement pour les cerfs sans bois (femelles et faons). Les cerfs tués à la chasse, mais qui ne sont pas retrouvés par les chasseurs, ont représenté seulement 2 % des morts. Ce pourcentage est faible par rapport aux autres études. En Illinois, ce pourcentage s'élevait à 34 % pour la chasse à l'arc et à 12 % pour la chasse à l'arme à feu (Nixon *et al.*, 2001) tandis qu'il était de 17 % pour la chasse à l'arc au Connecticut (Kilpatrick et Walter, 1999). D'après nos résultats, il faudrait donc ajouter 11 % de cerfs braconnés (figure 11) et 2 % de cerfs abattus et perdus en forêt au nombre de cerfs enregistrés par les chasseurs pour évaluer le nombre réel d'animaux récoltés chaque année.

La principale cause de mortalité des cerfs, avec et sans bois, a été, et de loin, la chasse (Figure 11). Le braconnage arrive en second lieu pour les cerfs sans bois, une cause de mortalité qui n'a pas été observée chez les cerfs avec bois, c'est-à-dire chez les mâles. La réglementation différente pour ces deux groupes est peut-être en cause. Étant donné qu'un nombre limité de permis de chasse aux cerfs sans bois est délivré chaque année, certains chasseurs n'ayant pas eu accès à ce permis et n'ayant pas récolté de

cerfs mâles adultes pourraient récolter illégalement un cerf sans bois. En contrepartie, comme la chasse aux cerfs avec bois est accessible à tous, le braconnage sur ce groupe serait moins fréquent. Une autre façon d'expliquer cette différence de braconnage selon le sexe de l'animal serait d'avancer que certains chasseurs abattent le premier cerf qui se présente, peu importe le sexe de l'animal et sans égard au fait qu'ils aient ou non en leur possession le permis spécial de cerf sans bois. Lorsqu'ils ne sont pas munis de ce permis spécial, ils se trouvent alors en situation de braconnage.

Quatre cerfs de Virginie sont morts dans des accidents routiers au cours des deux années suivant l'ouverture de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway, tous étaient à l'extérieur de la zone clôturée. Une carcasse a aussi été retrouvée dans la zone d'étude, mais comme cet accident n'a pas été déclaré, il n'a pas été considéré lors des analyses comparatives des taux d'accidents routiers impliquant le cerf dans d'autres ravages ou sections de route. Lorsque l'on vérifie le nombre d'accidents répertoriés ailleurs dans la région, on peut estimer à quelques dizaines annuellement le nombre d'accidents qui auraient pu survenir dans le ravage de la rivière Calway. Leur faible nombre indique que les aménagements réalisés pour cette nouvelle section d'autoroute ont été bénéfiques.

Conclusion

Les aménagements visant à empêcher les cerfs d'accéder à la nouvelle section de l'autoroute 73 ont été efficaces. De plus, la construction de la nouvelle section de l'autoroute au sein même du ravage n'a pas eu d'impact significatif sur la fidélité des cerfs, qu'il s'agisse de leur habitat estival ou hivernal. Cette nouvelle section d'autoroute n'a pas créé un effet de barrière lors des migrations ni poussé les cerfs à délaisser le côté ouest du ravage, deux conséquences appréhendées au début de l'étude. Les sautoirs se sont avérés efficaces pour faire sortir les cerfs qui avaient réussi à pénétrer dans l'emprise clôturée à la suite de l'ouverture de la route à la circulation.

Par contre, l'autoroute semble avoir eu un impact négatif sur certains aspects du comportement des cerfs, ces derniers ayant davantage sélectionné le côté ouest du ravage après la construction de l'autoroute. Ce phénomène pourrait avoir des effets négatifs sur la qualité de l'habitat à moyen et à long terme en causant une dégradation accélérée de la végétation (Cooke et Farrell, 2001; Côté *et al.*, 2004). Des différences importantes dans l'utilisation des structures de franchissement ont été observées lors de l'étude. Contrairement aux autres structures, le passage sous le pont de la rivière des Plante a été utilisé intensivement durant l'hiver. Cette différence pourrait être reliée à l'emplacement de la structure, située dans un étranglement du ravage, qui pourrait avoir un impact négatif sur le taux de survie de certains cerfs, spécialement lors d'hivers rigoureux.

Le taux de mortalité n'a pas augmenté avec la construction de l'autoroute; la chasse est demeurée, et de loin, la principale cause de mortalité tout au long de l'étude qui a également permis de déterminer que les statistiques de la récolte enregistrée annuellement par les chasseurs devraient être majorées d'environ 13 % pour prendre en considération les cerfs morts qui ne sont pas déclarés. Étant donné que le braconnage n'a touché que les cerfs sans bois, il est également important de considérer cette récolte additionnelle lors de l'émission des permis spéciaux pour les cerfs sans bois.

Les aménagements réalisés lors de la construction de l'autoroute ont été très efficaces pour la sécurité routière. En effet, aucune collision avec les cerfs n'a été répertoriée au registre du Diagnostic de sécurité routière (DSR) dans la zone clôturée depuis l'ouverture de l'autoroute. Même en prenant en compte la carcasse retrouvée dans

la zone d'étude et les accidents au nord de l'extrémité des clôtures, le taux d'accidents reste bien inférieur à celui appréhendé si les mesures d'atténuation n'avaient pas été mises en place. L'intégration d'aménagements pour la faune à un projet de construction de route dans des milieux aussi sensibles s'avère indispensable pour minimiser les effets négatifs sur les populations animales, mais aussi pour assurer la sécurité des usagers de la route. Bien que les aménagements doivent respecter les caractéristiques du milieu et donc varier selon les projets, cette étude apporte de nouvelles connaissances sur l'optimisation des structures. De nos jours, la prise en compte et la compréhension de ce type d'aménagements s'avèrent indispensables pour faire une gestion saine des populations animales et améliorer la sécurité des usagers de la route (Armstrong, 2000; Donaldson 2007).

Recommandations

Plusieurs structures et aménagements intégrés au projet de prolongement de l'autoroute dans le ravage de la rivière Calway ont été un succès et devraient être incorporés à d'éventuels projets routiers dans un ravage de cerfs. L'étude a aussi permis de mettre en lumière certains points qui pourraient être améliorés. Comme il n'a pas été possible de déterminer si l'utilisation des sautoirs a augmenté à la suite de la mise en service de l'autoroute ou en raison d'une quantité de neige plus importante au cours des derniers hivers, il serait nécessaire de faire le suivi de ces structures pendant un certain temps encore. Si le succès des sautoirs est attribuable à la présence de neige qui rend les cerfs moins réticents à sauter hors de l'emprise, il faudra songer à améliorer l'efficacité des structures. Une étude portant sur différents types de sautoirs pourrait permettre de dresser la liste des corrections à apporter. Cette étude pourrait par exemple évaluer différentes hauteurs de sautoirs. Comme les sautoirs de faible hauteur augmentent le risque d'intrusion dans l'emprise clôturée, ceux-ci pourraient être accompagnés d'une clôture perpendiculaire à quelques pieds de sa base pour empêcher les cerfs de se donner un élan pour le franchir.

Une autre recommandation porte sur l'habitat sous les structures de franchissement. Étant donné que les structures de franchissement semblent avoir été moins efficaces au cours de l'hiver, il est recommandé de poursuivre les recherches, notamment sur les caractéristiques des habitats à privilégier aux abords et sous ces structures, de manière à recréer les conditions les plus naturelles possible. Comme il faut attendre plusieurs années avant de voir le résultat des plantations, il est recommandé de protéger le plus possible l'habitat original et les boisés existants en diminuant l'aire affectée par les travaux. Ces correctifs pourraient également améliorer la perméabilité de l'autoroute en hiver et ainsi éviter que les cerfs surexploitent une section du ravage. Il est également recommandé d'éviter de séparer de petites sections de ravages ou de faire passer une route dans un ravage, car les cerfs sont alors obligés d'intégrer l'habitat sous les structures de franchissement à leurs domaines vitaux.

Finalement, il est recommandé de compléter les aménagements par des panneaux de signalisation ne fonctionnant que lors des périodes les plus à risques, soit au cours des mois de décembre, de janvier et d'avril afin d'augmenter leur efficacité dans la prévention des accidents routiers.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux et celles qui ont participé à la réalisation de cette étude, soit, par ordre alphabétique, Réhaume Courtois, Normand Desbiens, Michel Godbout Frédéric Hébert, D^r Robert Patenaude, Aurélie Renard et Pierre Robitaille. Nous adressons aussi nos remerciements aux nombreuses personnes qui ont participé à la capture et au suivi télémétrique des cerfs. Finalement, nous tenons à souligner tout particulièrement la contribution de Yves Leblanc de Aecom-Tecsult inc. qui a été l'un des initiateurs du projet et qui a participé, souvent à titre personnel, à la majorité des étapes de cette étude. Il a également fourni des conseils pertinents durant la rédaction de ce rapport et nous l'en remercions.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Aresco, M. J. 2005. Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpetofauna at a north Florida lake. *Journal of Wildlife Management*, 69:549–560.
- Armstrong, E., D. Euler, et G. Racey. 1983. Winter bed-site selection by white-tailed deer in Central Ontario. *Journal of Wildlife Management*, 47:880–884.
- Bissonette, J. A., et M. Hammer. 2000. Effectiveness of earthen return ramps in reducing big game highway mortality in Utah. *UTC FWRU Report Series*, 2000:1–29.
- Blankenship, T. L., A. M. Haines, M. E. Tewes, et N. J. Silvy. 2006. Comparing survival and cause-specific mortality between resident and transient bobcats *Lynx rufus*. *Wildlife Biology*, 12:297–303.
- Boucher, S., M. Crête, J.-P. Ouellet, C. Daigle, et F. Potvin. 2003. Augmentation de la densité des populations de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) au Québec : Comparaison d'indice de condition physique. Québec. Société de la faune et des parcs et Université du Québec à Rimouski. 22 p.
- Braden, A. W., R. R. Lopez, C. W. Roberts, N. J. Silvy, C. B. Owen, et P. A. Frank. 2008. Florida Key deer *Odocoileus virginianus clavium* underpass use and movements along a highway corridor. *Wildlife Biology*, 14:155–163.
- Brinkman, T. J., C. S. Deperno, J. A. Jenks, B. S. Haroldson, et R. G. Osborn. 2005. Movement of female white-tailed deer: Effects of climate and intensive row-crop agriculture. *Journal of Wildlife Management*, 69:1099–1111.
- Cain, A. T., V. R. Tuovila, D. G. Hewitt, et M. E. Tewes. 2003. Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in Southern Texas. *Biological Conservation*, 14:189–197.
- Carbaugh, B. J., J. P. Vaughan, E. D. Bellis, et H. B. Graves. 1975. Distribution and activity of white-tailed deer along an interstate highway. *Journal of Wildlife Management*, 39:570–581.
- Cheatum, E. L. 1949. Bone marrow as an index of malnutrition in deer. *New York State Conservationist*, 3:19–22.
- Clarke, G. P., P. C. L. White, et S. Harris. 1998. Effects of roads on badger *Meles meles* populations in south-west England. *Biological Conservation*, 86:117–124.
- Clevenger, A. P., B. Chruszcz, et K. E. Gunson. 2001. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 29:646–653.

- Clevenger, A. P., et N. Waltho. 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 14:47–56.
- Clevenger, A. P., et N. Waltho. 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation*, 121:453–464.
- Cole, E. K., M. D. Pope, et R. G. Anthony. 1997. Effects of road management on movement and survival of Roosevelt elk. *Journal of Wildlife Management*, 61:1115–1126.
- Conover, M. R. 1997. Monetary and intangible valuation of deer in the United States. *Wildlife Society Bulletin*, 25:298–305.
- Conover, M. R., W. C. Pitt, K. K. Kessler, T. J. DuBow, et W. A. Sanborn. 1995. Review of Human Injuries, Illnesses, and Economic Losses Caused by Wildlife in the United States. *Wildlife Society Bulletin*, 23:407–414.
- Cooke, A. S., et L. Farrell. 2001. Impact of muntjac deer (*Muntiacus reevesi*) at Monks Wood National Nature Reserve, Cambridgeshire, eastern England. *Forestry*, 74:241–250.
- Corlatti, L., K. Hacklaender, et F. Frey-Roos. 2009. Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. *Conservation Biology*, 23:548–556.
- Côté, S. D., T. P. Rooney, J.-P. Tremblay, C. Dussault, et D. M. Waller. 2004. Ecological impacts of deer overabundance. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35:113–117.
- Daigle, C., et H. Crépeau. 2003. Proportion de cerfs sans bois dans la récolte de cerfs de Virginie : Bilan de dix-huit années d'expérience. Société de la faune et des parcs du Québec. Direction de la recherche sur la faune. 23 p.
- Desjardins, S., M. Cusson, et B. Langevin. 2002. Plan de gestion du cerf de Virginie 2002-2008, zone 3. Société de la faune et des parcs. Direction de l'aménagement de la faune, Chaudière-Appalaches, Québec. 30 p.
- Diefenbach, D. R., C. O. Kochanny, J. K. Vreeland, et B. D. Wallingford. 2003. Evaluation of an expandable, breakaway radiocollar for white-tailed deer fawns. *Wildlife Society Bulletin*, 31:756–761.
- Ditchkoff, S. S., E. R. Welch Jr., R. L. Lochmiller, R. E. Masters, et W. R. Starry. 2001. Age-specific causes of mortality among male white-tailed deer support mate-competition theory. *Journal of Wildlife Management*, 65:552–559.

- Drews, C. 1995. Road kills of animals by public traffic in Mikumi National Park, Tanzania, with notes on baboon mortality. *African Journal of Ecology*, 33:89–100.
- Dodd, N. L., J. W. Gagnon, S. Boe, et R. E. Schweinsburg. 2007. Assessment of elk highway permeability by using Global Positioning System telemetry. *Journal of Wildlife Management*, 71:1107–1117.
- Donaldson, B. M. 2007. Use of highway underpasses by large mammals and other wildlife in Virginia: factors influencing their effectiveness. *Journal of the Transportation Research Board*, 2011:157–164.
- Downes, S. J., K. A. Handasyde, et M. A. Elgar. 1997. The use of corridors by mammals in fragmented Australian eucalyptus forests. *Conservation Biology*, 11:718–726.
- Edge, W. D., C. L. Marcum, et S. L. Olson. 1985. Effects of logging activities on home-range fidelity of elk. *Journal of Wildlife Management*, 49:741–744.
- Etter, D. R., K. M. Hollis, T. R. Van Deelen, D. R. Ludwig, J. E. Chelsvig, C. L. Anchor, et R. E. Warner. 2002. Survival and movements of white-tailed deer in suburban Chicago, Illinois. *Journal of Wildlife Management*, 66:500–510.
- Feldhammer, G. A., J. E. Gates, D. M. Harman, A. J. Loranger, et K. R. Dixon. 1986. Effects of interstate highway fencing on white-tailed deer activity. *Journal of Wildlife Management*, 50:497–503.
- Ferreras, P., J. J. Aldama, J. F. Bertrán, et M. Delibes. 1992. Rates and causes of mortality in a fragmented population of Iberian lynx *Felis pardina* Temminck, 1824. *Biological Conservation*, 61:197–202.
- Fieberg, J., D. W. Kuehn, et G. D. DelGiudice. 2008. Understanding variation in autumn migration of northern white-tailed deer by long-term study. *Journal of Mammalogy*, 89:1529–1539.
- Finder, R. A., J. L. Roseberry, et A. Woolf. 1999. Site and landscape conditions at white-tailed deer/vehicle collision locations in Illinois. *Landscape and Urban Planning*, 44:77–85.
- Forman, R. T. T., et L. E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29:207–231.
- Forman, R. T. T., et R. D. Deblinger. 2000. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology*, 14:36–46.
- Foster, M. L., et S. R. Humphrey. 1995. Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 23:95–100.

- Germain, G., F. Potvin, et L. Bélanger. 1991. Caractérisation des ravages de cerfs de Virginie au Québec. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Direction de la gestion des espèces et des habitats. 130 p.
- Gese, E. M., et S. Grothe. 1995. Analysis of coyote predation on deer and elk during winter in Yellowstone National Park, Wyoming. *American Midland Naturalist*, 133:36–43.
- Glista, D. J., T. L. DeVault, et J. A. DeWoody. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91:1–7.
- Groot-Bruinderink, G. W. T. A., et E. Hazebroek. 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology*, 10:1059–1067.
- Haines, A. M., M. E. Tewes, L. L. Laak, W. E. Grant, et J. Young. 2005. Evaluating recovery strategies for an ocelot (*Leopardus pardalis*) population in the United States. *Biological Conservation*, 126:512–522.
- Halls, L. K. 1984. White-tailed deer ecology and management. Stackpole, Harrisburg, Pennsylvania, USA. 864 p.
- Hébert, F. 2003. Le ravage de la Rivière Calway. État de situation et recommandations d'aménagement. Québec, Société de la faune et des parcs, Direction de l'aménagement de la faune de la Chaudière-Appalaches, Projet pilote de mise en valeur du cerf de Virginie. 36 p.
- Heisey, D. M., et T. K. Fuller. 1985. Evaluation of survival and cause-specific mortality rates using telemetry data. *Journal of Wildlife Management*, 49:668–674.
- Huot, J. 1974. Winter habitat of white-tailed deer at Thirty-One Mile Lake, Quebec. *Canadian Field-Naturalist*, 88:293–301.
- Hurst, J. E., et W. F. Porter. 2008. Evaluation of shifts in white-tailed deer winter yards in the Adirondack region of New York. *Journal of Wildlife Management*, 72:367–375.
- Jenkins, D. A., J. A. Schaefer, R. Rosatte, T. Bellhouse, J. Hamr, et F. F. Mallory. 2007. Winter resource selection of reintroduced elk and sympatric white-tailed deer at multiple spatial scales. *Journal of Mammalogy*, 88:614–624.
- Kilpatrick, H. J., et W. D. Walter. 1999. A controlled archery hunt in a residential community: cost, effectiveness, and deer recovery rates. *Wildlife Society Bulletin*, 27:115–113.
- Koerth, B. H., C. D. McKown, et J. C. Kroll. 1997. Infrared-triggered camera versus helicopter counts of white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin*, 25:557–562.

- Larson, T. J., O. J. Rongstad, et F. W. Terbilcox. 1978. Movement and habitat use of white-tailed deer in southcentral Wisconsin. *Journal of Wildlife Management*, 42:113–117.
- Laurian, C., C. Dussault, J.-P. Ouellet, R. Courtois, M. Poulin, et L. Breton. 2008. Behavior of moose relative to a road network. *Journal of Wildlife Management*, 72:1550–1557.
- Leblanc, Y., J. Bélanger, et S. Desjardins. 2007. Construction of a highway section within a white-tailed deer winter yard near Quebec city, Canada: Mitigation measures, monitoring, and preliminary results. *Proceedings of the 2007 International Conference on Ecology and Transportation*, 434–448.
- Leblond, M., C. Dussault, J.-P. Ouellet, M. Poulin, R. Courtois, et J. Fortin. 2007. Management of roadside salt pools to reduce moose-vehicle collisions. *Journal of Wildlife Management*, 71:2304–2310.
- Lehnert, M. E., et J. A. Bissonette. 1997. Effectiveness of highway crosswalk structures at reducing deer-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 25:809–818.
- Lesage, L., M. Crête, J. Huot, A. Dumont, et J.-P. Ouellet. 2000. Seasonal home range size and philopatry in two northern white-tailed deer populations. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1930–1940.
- Lingle, S. 2002. Coyote predation and habitat segregation of white-tailed deer and mule deer. *Ecology*, 83:2037–2048.
- Little, S. J., R. G. Harcourt, et A. P. Clevenger. 2002. Do wildlife passages act as prey-traps? *Biological Conservation*, 107:135–145.
- Lovallo, M. J., et E. M. Anderson. 1996. Bobcat Movements and home Ranges Relative to Roads in Wisconsin. *Wildlife Society Bulletin*, 24:71–76.
- Mansergh, I. M., et D. J. Scotts. 1989. Habitat continuity and social organization of the mountain pygmy-possum restored by tunnel. *Journal of Wildlife Management*, 53:701–707.
- McCaffery, K. R. 1973. Road-kills show trends in Wisconsin deer populations. *Journal of Wildlife Management*, 37:212–216.
- McLellan, B.N., et D. M. Shackleton. 1988. Grizzly bear and resource extraction industries: effects of roads on behaviour, habitat use and demography. *Journal of Applied Ecology*, 25:451–460.
- Mech, L. D. 1989. Wolf population survival in an area of high road density. *American Midland Naturalist*, 121:387–389.

- Messier, F., et C. Barrette. 1985. The efficiency of yarding behaviour by white-tailed deer as an antipredator strategy. *Canadian Journal of Zoology*, 63:785–789.
- Moen, A. N. 1976. Energy conservation by white-tailed deer in the winter. *Ecology*, 57:192–198.
- Morrison, S., F. Grapham, J. Forbes, S. J. Young, et S. Lusk. 2003. Within-yard habitat use by white-tailed deer at varying winter severity. *Forest Ecology and Management*, 172:173–182.
- Murray, D. L. 2006. On improving telemetry-based survival estimation. *Journal of Wildlife Management*, 70:1530–1543.
- Nams, V. O. 1990. LOCATE II user's guide. Pacer, Truro, N. S.
- Nelson, M. E. 1998. Development of migratory behavior in northern white-tailed deer. *Canadian Journal of Zoology*, 76:426–432.
- Nelson, M. E., et L. D. Mech. 1981. Deer social organization and wolf predation in northeastern Minnesota. *Wildlife Monographs*, 77:3–53.
- Nelson, M. E., et L. D. Mech. 1986. Mortality of white-tailed deer in northeastern Minnesota. *Journal of Wildlife Management*, 50:691–698.
- Nielsen, C. K., et A. Woolf. 2002. Habitat-relative abundance relationship for bobcats in southern Illinois. *Wildlife Society Bulletin*, 30:222–230.
- Nixon, C. M., L. P. Hansen, P. A. Brewer, J. E. Chelsvig, T. L. Esker, D. Etter, J. B. Sullivan, R. G. Koerkenmeier, et P. C. Mankin. 2001. Survival of white-tailed deer in intensively farmed areas of Illinois. *Canadian Journal of Zoology*, 79:581–588.
- Nixon, C. M., P. C. Mankin, D. R. Etter, L. P. Hansen, P. A. Brewer, J. E. Chelsvig, T. L. Esker, et J. B. Sullivan. 2008. Migration behavior among female white-tailed deer in Central and Northern Illinois. *American Midland Naturalist*, 160:178–190.
- Ng, J. W., C. Nielsen, et C. C. St. Clair. 2008. Landscape and traffic factors in influencing deer-vehicle collisions in an urban environment. *Human-Wildlife conflicts*, 2:34–47.
- Ng, S. J., J. W. Dole, R. M. Sauvajot, S. P. D. Riley, et T. J. Valone. 2004. Use of highway undercrossings by wildlife in southern California. *Biological Conservation*, 115:499–507.
- Parker, I. D., A. W. Braden, R. R. Lopez, N. J. Silvy, D. S. Davis, et C. B. Owen. 2008. Effects of US 1 project on Florida key deer mortality. *Journal of Wildlife Management*, 72:354–359.
- Pimlott, D. H. 1967. Wolf predation and ungulate populations. *American Zoologist*, 7:267–278.

- Pojar, T. M., R. A. Prosen, D. F. Reed, et T. N. Woodard. 1975. Effectiveness of a lighted, animated deer crossing sign. *Journal of Wildlife Management*, 39:87–91.
- Pollard, R. H., W. B. Ballard, L. E. Noel, et M. A. Cronin. 1996. Parasitic insect abundance and microclimate of gravel pads and tundra within the Prudhoe Bay oil field, Alaska, in relation to use by caribou, *Rangifer tarandus grati*. *Canadian Field-Naturalist*, 110:649–658.
- Potvin, F., et L. Breton. 1992. Rigueur de l'hiver pour le cerf au Québec : description de l'indicateur prévisionnel NIVA et présentation d'un logiciel approprié. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec. Direction de la gestion des espèces et des habitats. 15 p.
- Potvin, F., L. Breton, L. P. Rivest, et A. Gingras. 1992. Application of a double-count aerial survey technique for white-tailed deer, *Odocoileus virginianus*, on Anticosti Island, Québec. *Canadian Field-Naturalist*, 106: 435–442.
- Potvin, F., J. Huot, et F. Dushesneau. 1981. Deer Mortality in the Pohenegamook Wintering Area, Quebec. *Canadian Field-Naturalist*, 95:80–84.
- Putman, R. J. 1997. Deer and road traffic accidents: options for management. *Journal of Environmental Management*, 51:43–57.
- Reed, D. F., et T. N. Woodard. 1981. Effectiveness of highway lighting in reducing deer-vehicle accidents. *Journal of Wildlife Management*, 45:721–726.
- Romin, L. A., et J. A. Bissonnette. 1996. Deer-vehicle collisions: status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildlife Society Bulletin*, 24:276–283.
- Rongstad, O. J., et R. A. McCabe. 1984. Capture techniques. P. 655–676 in L. K. Halls, editor. *White-tailed deer: Ecology and management*. Stackpole Books, Harrisburg, Pennsylvania, USA, 864 p.
- SAAQ. 2009. <http://www.saaq.gouv.qc.ca/index.php>.
- Sabine, D. L., S. F. Morrison, H. A. Whitlaw, W. B. Ballard, G. J. Forbes, et J. Bowman. 2002. Migration behavior of white-tailed deer under varying winter climate regimes in New Brunswick. *Journal of Wildlife Management*, 66:718–728.
- Singer, F. J., et J. L. Doherty. 1985. Managing mountain goats at a highway crossing. *Wildlife Society Bulletin*, 13:469–477.
- Spellerberg, I. F. 1998. Ecological effects of roads and traffic: A literature review. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7:317–333.

- Sullivan, T. L., et T. A. Messmer. 2003. Perceptions of deer–vehicle collision management by state wildlife agency and department of transportation administrators. *Wildlife Society Bulletin*, 31:163–173.
- Tecsult Environnement Inc. 2000. Étude d'impact sur l'environnement pour le prolongement de l'autoroute 73 entre Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville, M.R.C. Robert-Cliche. Rapport final déposé au Ministère des Transports, Gouvernement du Québec, février 2000. Pagination multiple.
- Tecsult Environnement Inc. 2002. Inventaire des pistes et des sentiers de cerfs de Virginie à l'hiver 2001-2002 dans le ravage de la Rivière-Calway. Étude d'impact sur l'environnement pour le prolongement de l'autoroute 73. Rapport final déposé au Ministère des Transports, Gouvernement du Québec, septembre 2002. 37 p.
- Tecsult Environnement Inc. 2003. Recherche bibliographique sur les clôtures et les passages pour la grande faune/cerf de Virginie. Mesures d'atténuation pour le prolongement de l'autoroute Robert-Cliche (73) entre Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville, M.R.C. Robert-Cliche. Rapport final déposé au Ministère des Transports, Gouvernement du Québec, janvier 2003. 60 p.
- Tierson, W. C., G. F. Mattfeld, R. W. Sage Jr., et D. F. Behrend. 1985. Seasonal movements and home ranges of white-tailed deer in the Adirondacks. *Journal of Wildlife Management*, 49:760-769.
- Vos, C. C., et J. P. Chardon. 1998. Effects of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*. *Journal of Applied Ecology*, 35:44–56.
- Widenmaier, K., et L. Fahrig. 2006. Inferring white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) population dynamics from wildlife collisions in the city of Ottawa. *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*, 589–602.

ANNEXE I

Section de route à une chaussée à deux voies contiguës



ANNEXE II

Section de route à deux chaussées séparées et quatre voies



ANNEXE III

Clôture à cervidés



ANNEXE IV

Clôture de déviation



ANNEXE V**Clôture à cervidés doublée de clôture à neige**

ANNEXE VI**Sautoir ou rampe de fuite****A)****B)**

ANNEXE VII

Pont de la rivière Calway



ANNEXE VIII

Pont d'étagement de la route Calway



ANNEXE IX

Pont d'étagement du chemin de la Carrière



ANNEXE X

Pont de la rivière des Plante



ANNEXE XI

Passage à faune du ruisseau Doyon



ANNEXE XII

Liste partielle des espèces végétales attractives et répulsives pour le cerf de Virginie

Plantes très rarement broutées par les cerfs

Épinettes (*Picea* spp.)

Genévriers (*Juniperus* spp.)

Ilex spp.

Mélèzes (*Larix* spp.)

Physocarpes (*Physocarpus* spp.)

Spirée à larges feuilles (*Spiraea latifolia*)

Symphorines (*Symphoricarpus* spp.)

Verge d'or (*Solidago canadensis*)

Plantes rarement broutées par les cerfs

Achillée mille-feuilles (*Achillea millefolium*)

Amélanchier (*Amelanchier* spp.)

Argousier (*Hippophae rhamnoides*)

Aulnes (*Alnus* spp.)

Baldingère faux-roseau (*Phalaris arundinacea*)

Calamagrostis (*Calamagrostis* spp.)

Échinacée (*Echinacea* spp.)

Fétuque (*Festuca* spp.)

Frênes (*Fraxinus* spp.)

Lilas commun (*Syringa vulgaris*)

Lilas réticulata (*Syringa reticulata* ssp.)

Miscanthus (*Miscanthus* spp.)

Olivier de bohème (*Elaeagnus angustifolia*)

Orme d'Amérique (*Ulmus americana*)

Ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana*)

Sorbaria (*Sorbaria* spp.)

Viorne (*Viburnum opulifolius*)

Plantes broutées par les cerfs

Bleuetier (*Vaccinium angustifolium*)
 Cèdre du Canada (*Thuja occidentalis*)
 Cerisiers (*Prunus* spp.)
 Chèvrefeuille (*Lonicera* spp.)
 Cornouiller (*Cornus* spp.)
 Épilobe (*Epilobium* spp.)
 Érable à épis (*Acer spicatum*)
 Érable de l'Amour (*Acer ginnala*)
 Érable rouge (*Acer rubrum*)
 Framboisiers (*Rubus* spp.)
 Mûriers (*Morus* spp.)
 Peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*)
 Poirier (*Pirus* spp.)
 Pommiers (*Malus* spp.)
 Saule (*Salix* spp.)
 Sorbier (*Sorbus* spp.)
 Trèfle blanc (*Trifolium repens*)
 Trèfle rouge (*Trifolium rubens*)
 Vigne (*Vitaceae* spp.)
 Vinaigrier (*Rhus typhina*)

Les feuillus sont généralement broutés lorsqu'ils sont de petite taille. Une plantation avec des végétaux de deux mètres de hauteur éliminerait ce problème.

Une liste des plantes rarement broutées par les cerfs de Virginie a également été dressée par le surintendant des parcs de Mohonk Mountains

(http://www.gardening.cornell.edu/factsheets/deerdef/mohonk_list.pdf)

de même que par Faune Parcs Québec (http://www.mrn.gouv.qc.ca/Chaudiere-appalaches/pdf/Fascicule_2.pdf).

ANNEXE XIII

Liste des espèces végétales ayant été plantées lors de la construction de la nouvelle section de l'autoroute 73 (Robert-Cliche)

Aulne crispé (*Alnus crispa*)
Aulne rugueux (*Alnus rugosa*)
Chalef argenté (*Elaeagnus comutata*)
Cornouiller stolonifère (*Cornus stolonifera*)
Épilobe à feuilles étroites (*Epilobium angustifolium*)
Épinette blanche (*Picea glauca*)
Épinette du Colorado (*Picea pungens*)
Érable à épis (*Acer spicatum*)
Érable rouge (*Acer rubrum*)
Frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica*)
Mélèze laricin (*Larix laricina*)
Osier blanc (*Salix viminalis*)
Peuplier grisard (*Populus canescens*)
Physocarbe à feuilles d'obier (*Physocarpus opulifolius*)
Pin rouge (*Pinus resinosa*)
Saulle des variers (*Salix viroinalis*)
Saulle discolore (*Salix discolor*)
Sorbaria à feuilles de sorbier (*Sorbaria sorbifolia*)
Spirée à larges feuilles (*Spiraea latifolia*)
Vinaigrier (*Rhus typhina*)
Viorne lengato (*Viburnum lengato*)

ANNEXE XIV

Protocole d'urgence en cas d'intrusion de cerfs de Virginie à l'intérieur de l'emprise clôturée

**Autoroute Robert-Cliche (A-73), Saint-Joseph-de-Beauce et Beauceville
(kilomètres 61 à 68)**

**Procédure suggérée en cas de présence de CERFS DE VIRGINIE (chevreuils)
à l'intérieur des clôtures à cervidés (hauteur de 2,4 mètres [8 pieds])**

Si vous constatez la présence d'un cerf à l'intérieur de la clôture, votre responsabilité est de **sécuriser la route** et **d'expulser l'animal** hors de l'emprise.

1 – Assurez d'abord la sécurité des usagers en les prévenant de réduire leur vitesse (gyrophare, barre horizontale); ne tolérez aucun observateur en bordure de la route (voiture arrêtée).

Si le cerf est au bord de la route, dirigez-le **doucement** vers la clôture et les sautoirs en demeurant dans votre véhicule. Il y a un sautoir aux 500 m en moyenne, des deux côtés de la route. Vous pouvez aussi le diriger vers l'extrémité nord ou sud des clôtures s'il se trouve tout près de là.

Ne le poursuivez pas en tentant de vous en approcher, il risque de s'affoler, de foncer dans la clôture et de se blesser ou de se tuer.

Il est important de faire tout ce qui est en votre pouvoir pour diminuer son niveau de panique. Surveillez-le sans imposer votre présence, gardez-le à portée de vue (du véhicule si possible) sans le brusquer et suivez-le jusqu'à un sautoir.

2 – **Si vous devez descendre de votre véhicule**, marchez derrière lui en restant en bordure de la route, bougez les bras, le cerf distingue mieux les mouvements que les

personnes immobiles. Vous pouvez vous aider d'une lampe de poche, mais les fusées éclairantes sont à éviter. Votre but est de l'orienter vers un sautoir pour qu'il quitte l'emprise de l'autoroute. Le cerf peut hésiter avant d'utiliser le sautoir, soyez patient. Si vous constatez qu'un cerf ne veut pas prendre le sautoir, continuez à le suivre à distance, il est possible qu'il utilise le sautoir suivant.

Si le cerf revient sur ses pas, reprenez l'opération jusqu'à ce qu'il utilise un sautoir.

Il est possible qu'une femelle accompagnée de sa progéniture utilise le sautoir, mais que les jeunes hésitent; vous devrez patienter, la mère les appellera sûrement pour qu'ils la suivent; restez à distance et attendez.

3 – Advenant le cas où un jeune quitte le sautoir et longe la clôture, il vous reste deux solutions, l'orienter vers un autre sautoir ou le faire sortir par une porte.

Il y a cinq **portes** qui peuvent servir à faire sortir les cerfs emprisonnés à l'intérieur des clôtures. Ces portes se trouvent près des quatre ponts ou ponts d'étagement entre les kilomètres 62,5 (rivière des Plante) et 66 (rivière Calway), voir la **carte jointe**. Ces portes peuvent être ouvertes par les patrouilleurs qui possèdent les clefs des cadenas. Elles doivent être utilisées lorsqu'un autre intervenant s'occupe de l'animal en bordure de l'autoroute. Le principe est simple, il faut orienter le cerf vers cette porte pour qu'il quitte l'emprise de l'autoroute.

4 – Une fois la situation réglée, **faites un rapport** de l'événement au Centre régional d'information et de communication (CRIC) du MTQ en étant le plus précis possible : indiquez le numéro du sautoir, allez voir si une obstruction empêche son utilisation, notez le comportement du cerf, etc. En tout temps, veuillez S.V.P. nous faire part de toutes vos observations et de toute anomalie constatée (bris de la clôture, arbre tombé, vandalisme, pistes de cerfs, etc.).

ANNEXE XV

Rapport d'intrusion de cerfs de Virginie à l'intérieur de l'emprise clôturée

RAPPORT D'INTRUSION D'UN ANIMAL (CERF DE VIRGINIE) À L'INTÉRIEUR DES CLÔTURES – AUTOROUTE 73 – SAINT-JOSEPH-DE- BEAUCE

Date d'intervention :	AAAA - MM - JJ
Heure d'intervention :	HH - MM

Localisation de l'animal :	N° borne km
----------------------------	-------------

L'animal est sorti de l'emprise par :

Sautoir n° :	
Extrémité Sud :	
Extrémité Nord :	
Porte :	

Cause de l'intrusion :

Extrémité de la Sud	
clôture :	
Nord	
Bris de clôture :	
Indéterminée :	
	Borne km

Autre (préciser) : _____
Difficulté rencontrée : _____

Assistance de :	SQ ☐	SCF ☐
Autre (préciser) _____		

Sexe de l'animal :	Mâle ☐	Femelle ☐	Indéterminé ☐
Accompagné de jeunes :	Oui ☐	Non ☐	
Présence de collier ou d'étiquette à l'oreille :	Oui ☐	Non ☐	Si oui numéro

L'animal a été frappé par un véhicule :	Oui ☐	Non ☐
L'animal s'est blessé dans la clôture :	Oui ☐	Non ☐
Sauvetage de l'animal par la SCF :	Oui ☐	Non ☐
Animal abattu par :	SQ ☐	SCF ☐
L'animal s'est tué dans la clôture :	Oui ☐	Non ☐
L'animal a été récupéré :	Oui ☐	Non ☐

ANNEXE XVI

Cerfs de Virginie utilisant le passage sous le pont de la rivière des Plante

