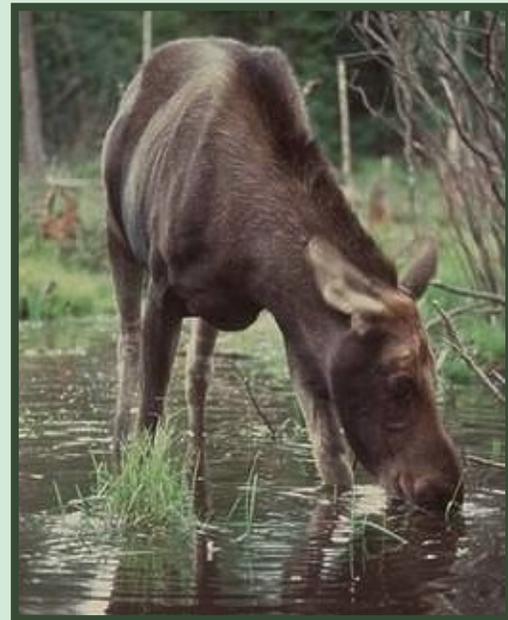


# Évaluation de la clôture électrique comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides



Mathieu Leblond, UQAR  
Christian Dussault, UQAR-MRNF  
Jean-Pierre Ouellet, UQAR  
Marius Poulin, MTQ  
Réhaume Courtois, MRNF  
Jacques Fortin, MTQ

**Évaluation de la clôture électrique comme mesure de mitigation des accidents routiers  
impliquant l'original dans la réserve faunique des Laurentides**

Rapport final

Mathieu Leblond<sup>1</sup>, Christian Dussault<sup>1,2</sup>, Jean-Pierre Ouellet<sup>1</sup>, Marius Poulin<sup>3</sup>,  
Réhaume Courtois<sup>2</sup> et Jacques Fortin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et sciences de la santé

<sup>2</sup> Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche sur la faune

<sup>3</sup> Ministère des Transports du Québec, Service du soutien technique, Direction générale de  
Québec et de l'Est

Rimouski, Québec

Janvier 2006

**RÉSUMÉ**

Chaque année, les accidents routiers impliquant la grande faune sont à l'origine de pertes de vies humaines, de nombreux blessés et de coûts importants en dégâts matériels. Dans le but de réduire l'occurrence des collisions impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides, une région où en moyenne environ 65 accidents de ce type surviennent chaque année, la clôture électrique a été testée comme nouvelle mesure de mitigation. Deux clôtures électriques (175C = 5 km et 169C = 10 km) ont été installées le long de tronçons particulièrement problématiques et l'efficacité de celles-ci à entraver le déplacement des orignaux a été évaluée par inventaires de pistes sur une période de 3 ans. Des secteurs témoins de même longueur ont aussi été inventoriés avec la même méthode. Enfin, un passage à faune fut installé le long de chaque clôture électrique et des inventaires de pistes ont également servi à évaluer leur utilisation par l'orignal. Seulement 25 % des pistes recensées du côté de la route par rapport à la clôture électrique ont été laissées par un orignal qui avait de toute évidence franchi la clôture lorsqu'elle était en fonction. La plupart des orignaux ont plutôt accédé au corridor clôturé en contournant la clôture électrique par une ouverture ou par son extrémité. Malgré cela, les clôtures électriques se sont avérées efficaces puisqu'elles ont empêché de 76 à 81 % des orignaux d'atteindre la chaussée. Aucun accident n'est survenu dans les secteurs clôturés durant cette étude, bien qu'ils étaient considérés à haut risque avant l'érection des clôtures. Des signes de fréquentation par l'orignal ont été observés dans les passages à faune au cours des trois étés. Afin de maximiser l'efficacité de la clôture électrique, nous recommandons l'utilisation d'un disjoncteur adapté permettant de réduire l'occurrence des pannes de courant et d'éviter de laisser des ouvertures le long de la clôture lors de son installation. L'utilisation de barrières ou de structures anti-ongulés empêcherait les orignaux d'accéder au corridor clôturé au niveau des chemins forestiers qui ne peuvent être clôturés de façon permanente. En procédant de la sorte, nous croyons que la clôture électrique pourrait avoir un rendement comparable à celui de la clôture métallique conventionnelle, tout en étant moins dispendieuse et plus discrète.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>vi</b>
<b>1.0 INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....</b>	<b>3</b>
2.1 AIRE D'ÉTUDE .....	3
2.2 LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE .....	3
2.3 INVENTAIRES DE PISTES AUX SECTEURS CLÔTURÉS .....	3
2.4 ANALYSES STATISTIQUES .....	3
<b>3.0 RÉSULTATS.....</b>	<b>3</b>
3.1 FONCTIONNEMENT DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE .....	3
3.2 FRÉQUENTATION DU BORD DE LA ROUTE PAR L'ORIGINAL DANS LES SECTEURS CLÔTURÉS.....	3
3.3 TRAVERSÉES DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE PAR L'ORIGINAL .....	3
3.4 UTILISATION DES PASSAGES À FAUNE PAR L'ORIGINAL .....	3
3.5 EFFICACITÉ DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE À RÉDUIRE LE RISQUE D'ACCIDENT ROUTIER .....	3
3.6 COÛTS DE CONSTRUCTION ET D'ENTRETIEN DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE .....	3
<b>4.0 DISCUSSION .....</b>	<b>3</b>
4.1 FONCTIONNEMENT DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE .....	3
4.2 FRÉQUENTATION DU BORD DE LA ROUTE PAR L'ORIGINAL DANS LES SECTEURS CLÔTURÉS.....	3
4.3 TRAVERSÉES DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE PAR L'ORIGINAL .....	3
4.4 UTILISATION DES PASSAGES À FAUNE PAR L'ORIGINAL .....	3
4.5 EFFICACITÉ DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE À RÉDUIRE LE RISQUE D'ACCIDENT ROUTIER .....	3
4.6 COÛTS DE CONSTRUCTION ET D'ENTRETIEN DE LA CLÔTURE ÉLECTRIQUE .....	3
<b>5.0 IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT.....</b>	<b>3</b>
<b>6.0 CONCLUSION.....</b>	<b>3</b>
<b>7.0 REMERCIEMENTS .....</b>	<b>3</b>
<b>8.0 RÉFÉRENCES.....</b>	<b>3</b>

## Liste des Figures

Figure 1. Aire d'étude : la réserve faunique des Laurentides et les routes provinciales 175 et 169 qui la traversent.

Figure 2. Voltage (kV) des quatre câbles conducteurs, mesuré chaque semaine 1) à la 175C en 2003, 2) à la 175C en 2004, 3) à la 175C en 2005 et 4) à la 169C en 2005. Les boîtes à moustaches indiquent la médiane ainsi que les quartiles du voltage moyen mesurés aux différentes stations d'échantillonnage le long de la clôture. La ligne horizontale représente la valeur de fonctionnement normal de 5 kV suggérée par le fabricant.

Figure 3. Nombre total de pistes d'originaux recensées par période dans les secteurs clôturé et témoin de la 169C au cours des étés 2003 à 2005.

Figure 4. Nombre annuel moyen de pistes d'originaux recensées dans les secteurs clôturé et témoin de la 175C au cours des étés 2003 à 2005 (clôture installée en 2002). Les pistes recensées dans le secteur clôturé sont distinguées d'après leur position par rapport à la clôture électrique.

Figure 5. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 175C en 2003.

Figure 6. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 175C en 2004. Les pistes sont distinguées selon le statut (opérationnelle ou non) de la clôture électrique.

Figure 7. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 175C en 2005. Les pistes sont distinguées selon le statut (opérationnelle ou non) de la clôture électrique.

Figure 8. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 169C en 2005.

### Liste des tableaux

Tableau 1. Moyenne, erreur-type et intervalles de confiance à 95 % des différences entre le nombre de pistes d'originaux recensées dans le secteur clôturé et le secteur témoin de la 169C, avant (n = 2 ans) et après (n = 1 an) l'installation de la clôture électrique. Une valeur négative (–) indique un nombre plus élevé de pistes dans le secteur clôturé.

Tableau 2. Moyenne, erreur-type et intervalles de confiance à 95 % des différences entre le nombre de pistes d'originaux recensées du côté de la forêt et du côté de la route par rapport à la clôture électrique de la 175C, par année. Une valeur négative (–) indique un nombre plus élevé de pistes du côté de la route.

## **Liste des annexes**

Annexe 1. Mise en contexte des décisions prises par le Ministère des Transports lors de la mise en place des clôtures électriques et des passages à faune dans la réserve faunique des Laurentides.

Annexe 2. Nombre total de pistes d'originaux recensées dans les secteurs clôturés et témoins des routes 175 et 169, par année, indépendamment du statut (voltage) des clôtures électriques. Les pistes recensées à la 175C sont distinguées d'après leur position par rapport à la clôture électrique. Les tirets (-) indiquent les secteurs où les pistes étaient lues d'un seul côté de la clôture électrique, ou les secteurs non clôturés.

## 1.0 Introduction

La problématique des accidents routiers impliquant la grande faune fait obstacle à la sécurité routière depuis longtemps (Dickerson 1939, Haugen 1944, McClure 1951, Bellis et Graves 1971, Evink 2002). Chaque année, ces accidents sont à l'origine de pertes de vies humaines, de nombreux blessés et de coûts importants en dégâts matériels. Aux États-Unis, par exemple, Conover *et al.* (1995) ont estimé à 211 le nombre annuel de mortalités humaines associées aux accidents routiers impliquant la grande faune, en plus des 29 000 blessés et des coûts estimés à plus d'un milliard US\$. Le développement et l'amélioration continuel du réseau routier qui doit accommoder un nombre grandissant de véhicules, associés à l'augmentation de la densité de la plupart des grands cervidés, contribuent actuellement à intensifier le problème dans plusieurs régions du monde (Oosenbrug *et al.* 1991, Groot Bruinderink et Hazebroek 1996, Romin et Bissonette 1996). Le Québec ne fait pas exception à cette tendance mondiale; selon les relevés officiels, les routes du Québec furent le théâtre d'environ 2 540 accidents impliquant la grande faune par année au cours des années 90, dont 200 étaient causés par l'orignal (*Alces alces*), 2 300 par le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et 40 par l'ours noir (*Ursus americanus*; Munro *et al.* 2001). Ces valeurs sont conservatrices puisque certains accidents ne sont pas rapportés, particulièrement lorsqu'ils ne causent que des dégâts mineurs (Romin et Bissonette 1996). Au Québec, comme ailleurs dans le monde, le nombre réel d'accidents impliquant la grande faune pourrait être deux fois plus élevé que celui rapporté (Conover 1997).

La masse corporelle élevée et la grande taille de l'orignal en font l'espèce causant les blessures les plus graves et engendrant le plus de dommages matériels. C'est dans la réserve faunique des Laurentides que les accidents routiers impliquant l'orignal sont les plus nombreux au Québec. L'orignal y a été impliqué dans 40 à 70 accidents par année entre 1990 et 2002, ce qui représente près de 92 % de tous les accidents recensés impliquant la grande faune qui y sont survenus (Poulin 1999, Poulin et Fortin 2005). Dans cette réserve, les 310 accidents impliquant l'orignal survenus entre 2000 et 2004 ont causé plus de 6,7 millions CAN\$ en dommages. La réduction de l'incidence des accidents routiers impliquant la grande faune est un objectif important pour le Ministère des Transports au Québec, comme dans beaucoup d'autres juridictions (Joyce et Mahoney 2001). Afin de proposer des mesures de

mitigation adaptées et efficaces, il est nécessaire de comprendre les facteurs qui favorisent l'occurrence de ces accidents.

La répartition temporelle et spatiale des accidents routiers impliquant la grande faune n'est pas aléatoire. Les mois de mai à août correspondent à la période la plus propice aux accidents dans la réserve faunique des Laurentides (Grenier 1974, Dussault *et al.* 2004) ainsi que dans d'autres régions du monde (Fraser 1979, Lavrund et Sandegren 1991, Belant 1995, Farrell *et al.* 1996, Joyce et Mahoney 2001). Ces accidents peuvent survenir à toute heure de la journée, mais le risque est maximal durant la nuit, suivi par le crépuscule et l'aube (Dussault *et al.* 2004). De plus, certaines caractéristiques de l'environnement autour des routes favorisent l'occurrence des accidents routiers avec la grande faune (Puglisi *et al.* 1974, Bashore *et al.* 1985, Finder *et al.* 1999, Hubbard *et al.* 2000, Nielsen *et al.* 2003, Malo *et al.* 2004, Seiler 2005). Dans la réserve faunique des Laurentides, Dussault *et al.* (2004) ont démontré que la densité de l'orignal, la pente moyenne du terrain de chaque côté de la route, la présence d'un corridor de déplacement (i.e. coulées de part et d'autre de la route) et la présence de mares salines avaient un effet sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers impliquant l'orignal. Grenier (1974) avait aussi démontré que les mares salines provoquaient un achalandage inhabituel des orignaux au bord de la route, augmentant le risque d'accident. Cette attraction serait causée par le sodium disponible en grande quantité dans ces mares suite à l'accumulation du sel utilisé pour déglacer les routes en hiver. Enfin, d'autres variables comme la densité du trafic (McCaffery 1973, Joyce et Mahoney 2001, Seiler 2004, 2005) et le climat (Dussault *et al.* 2004, Mysterud 2004) peuvent aussi avoir un impact sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers avec la grande faune.

Plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer différentes mesures de mitigation des accidents routiers impliquant la grande faune. La clôture métallique, associée ou non à des passages à faune, a été testée dans plusieurs régions. Son efficacité est généralement reconnue (Falk *et al.* 1978, Ward 1982, Ludwig et Bremicker 1983, Clevenger *et al.* 2001, mais voir Feldhamer *et al.* 1986) bien que son prix élevé puisse être prohibitif dans certaines situations. D'autres mesures de mitigation se sont également avérées efficaces, comme l'utilisation des grilles d'exclusion (Belant *et al.* 1998, Peterson *et al.* 2003), les substances chimiques repoussantes (Fraser et Hristienko 1982) et la gestion adaptée de la végétation en bordure des routes (Rea 2003). D'autres méthodes ont procuré des résultats peu convaincants ou mitigés, tel l'éclairage des routes (Reed 1981), l'utilisation de miroirs (Queal 1967, Beauchamp 1970,

Gilbert 1982) ou de réflecteurs (Waring *et al.* 1991, Reeve et Anderson 1993, Ujvári *et al.* 1998, mais voir Schafer et Penland 1985), les sifflets à ultrasons (Romin et Dalton 1992, mais voir Muzzi et Bisset 1990), les dispositifs sonores actionnés au passage des voitures (Ujvári *et al.* 2004), les panneaux de signalisation dynamique (Pojar *et al.* 1975, Gordon *et al.* 2004) et la diminution de la vitesse des voitures (Bertwistle 1999).

Devant les constats réalisés dans la réserve faunique des Laurentides et la littérature disponible sur le sujet (de Bellefeuille et Poulin 2003), le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a adopté un plan spécial d'interventions dans le but de réduire les risques de collisions sur ce territoire. Les interventions sur le terrain ont consisté en l'aménagement des mares salines les plus problématiques en les asséchant et en les comblant de pierres pour éviter que les orignaux reviennent les fréquenter. Un réseau de mares salines de compensation a aussi été aménagé en forêt. De plus, dans les secteurs à risque élevé où les mares salines n'étaient pas nécessairement à l'origine du problème ou aux endroits où l'aménagement des mares salines s'avérait difficile à réaliser, le MTQ a opté pour l'installation de clôtures électriques, une méthode présentant de multiples avantages potentiels.

L'utilisation de la clôture électrique comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant la grande faune est encore très récente et relativement peu répandue. Cette méthode fut testée au Nouveau-Brunswick, où un seul accident impliquant l'orignal est survenu depuis son installation en 2000 sur un segment d'autoroute à haut risque (Redmond 2005). Elle est aussi utilisée comme mesure de mitigation des accidents routiers en Arizona depuis 2004, et le sera bientôt au Nouveau-Mexique, au Montana et en Alaska (Redmond 2005). La plupart des études réalisées au sujet de la clôture électrique ont testé son efficacité à restreindre l'accès de diverses espèces animales à des champs de culture, des plantations ou des proies sessiles. Ces clôtures électriques entouraient généralement une aire relativement petite. McKillop et Sibly (1988), dans leur revue de littérature sur l'utilisation de la clôture électrique, citent 86 études traitant de plus de 42 espèces animales, domestiques et sauvages, dont les déplacements ont été entravés par ce type de clôture. De plus, la clôture électrique s'est avérée efficace pour bloquer le passage de l'orignal dans un contexte d'interférence à la ressource (Wicks 2002). Toutefois, aucune étude complétée à ce jour n'a évalué la clôture électrique dans un contexte de mitigation des accidents routiers au Québec, une région où les conditions climatiques sont particulièrement difficiles.

Le présent rapport présente les résultats d'une étude de 3 ans dont l'objectif principal était d'évaluer l'efficacité de la clôture électrique comme mesure de mitigation des accidents routiers impliquant l'orignal. Les objectifs spécifiques suivants étaient poursuivis: 1) évaluer le fonctionnement de la clôture électrique, 2) évaluer l'effet de la clôture électrique sur le taux de fréquentation des bords de la route par l'orignal, 3) évaluer l'efficacité de la clôture électrique à empêcher le passage des orignaux et 4) évaluer l'utilisation des passages à faune par l'orignal. Les coûts associés à la construction et à l'entretien de la clôture électrique sont aussi présentés en complément, afin de permettre une évaluation complète de cette mesure de mitigation.

## **2.0 Matériel et méthodes**

### **2.1 Aire d'étude**

La recherche a été effectuée le long des routes provinciales 175 et 169 dans la réserve faunique des Laurentides, un territoire naturel de 7 861 km<sup>2</sup> situé entre les villes de Québec et Saguenay, Québec, Canada (Figure 1). Ces routes offrent une seule voie de circulation dans chaque direction, sauf dans les secteurs à forte pente où des voies de dépassement sont disponibles. La vitesse maximale permise est fixée à 90 km/h et le débit journalier moyen est de 1 460 voitures sur la route 169 et de 2 800 voitures dans le nord de la route 175 (Dussault *et al.* 2004). La réserve faunique des Laurentides est composée de peuplements de conifères ou mélangés typiques de la région boréale (Dussault *et al.* 2001). Les peuplements résineux de sapin (*Abies balsamea*) et d'épinette noire (*Picea mariana*) dominent en haute altitude alors que les vallées et les secteurs de basse altitude sont recouverts de peuplements mélangés et feuillus, où dominent le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) et le bouleau jaune (*B. alleghaniensis*). La récolte commerciale de matière ligneuse et une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) ont contribué à créer une mosaïque forestière hétérogène de peuplements matures entrecoupés par des peuplements en régénération. Le dernier inventaire aérien réalisé dans la région a permis d'estimer la densité de l'orignal à 2,2 orignaux / 10 km<sup>2</sup> en moyenne, avec des secteurs propices atteignant 8 orignaux / 10 km<sup>2</sup> (St-Onge *et al.* 1995). Le caribou (*Rangifer tarandus*), le cerf de Virginie et les deux principaux prédateurs des cervidés, soit le

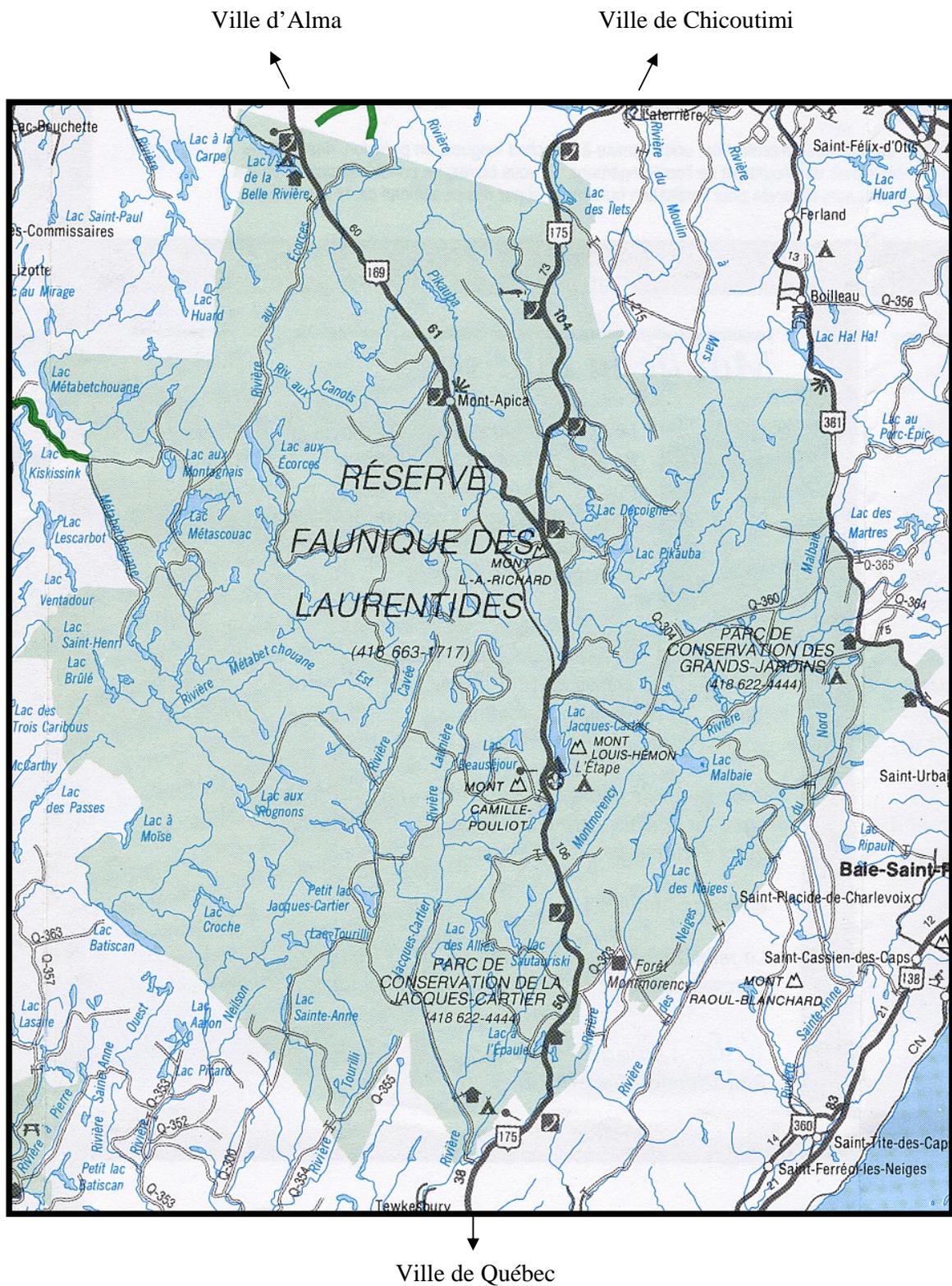


Figure 1. Aire d'étude : la réserve faunique des Laurentides et les routes provinciales 175 et 169 qui la traversent.

loup gris (*Canis lupus*) et l'ours noir, sont les autres espèces de grands mammifères que l'on retrouve dans l'aire d'étude.

## 2.2 La clôture électrique

Deux clôtures électriques furent érigées dans la réserve faunique des Laurentides. La première, d'une longueur de 5 km, fut construite à l'automne 2002 sur la route 175; la seconde, d'une longueur de 10 km, fut installée à l'automne 2004 sur la route 169. Les clôtures électriques, fabriquées par *Electrobraid*<sup>TM</sup>, étaient composées de cinq câbles en fibre de polyester entourés de torons de cuivre et tendus le long de poteaux en fibre de verre. Les câbles étaient espacés de 30 cm et le câble supérieur était tendu à 1,5 m du sol. Le courant électrique était obtenu à partir d'une ligne électrique conventionnelle (110 V) et d'un transformateur Panther 36 000 (*Speedrite TRU-TEST*). Un des câbles (4<sup>ème</sup> câble à partir du sol) était relié à des poteaux de métal plantés dans le sol à tous les 400-800 m, servant de mises à la terre. Les clôtures électriques étaient reliées à un disjoncteur ou « *fence minder* » (*Electrobraid*<sup>TM</sup>, 125 V, 60 Hz, 100 W) permettant d'interrompre le courant en cas de chute de tension importante et de signaler automatiquement le problème à un opérateur téléphonique. La clôture électrique de la route 175 (175C) était mise sous tension au printemps, tôt après la fonte des neiges, et était déconnectée à la mi-décembre pour l'hiver. Celle de la route 169 (169C) a été laissée en fonction (seulement le câble supérieur) au cours de l'hiver 2004-2005.



*La clôture électrique 175C.*



*L'équipement électrique nécessaire au fonctionnement de la clôture électrique.*

Un passage à faune a été aménagé sous un pont de la route 175, près du centre du secteur clôturé (2,5 km de l'extrémité sud de la clôture électrique). Ses dimensions étaient de 23 m de largeur, 16 m de profondeur et 7 m de hauteur. La présence d'une rivière au centre du passage à faune contraignait les orignaux à utiliser un des deux sentiers d'une largeur de 2 m aménagés de part et d'autre de la rivière. Un passage à faune a aussi été installé le long de la 169C à 1 km de l'extrémité sud de la clôture électrique. Il s'agissait d'un passage sur la chaussée à un endroit où une ouverture dans la clôture avait été laissée de part et d'autre de la route. Des panneaux de signalisation dynamique déclenchés par un système de détection au laser permettaient d'avertir les automobilistes lorsqu'un orignal s'engageait dans le passage. Les décisions prises par le MTQ lors de l'installation des clôtures électriques et des passages à faune, dans le contexte particulier d'une première étude de ce genre réalisée au Québec, sont présentées à l'annexe 1.



*Le passage à faune sous un pont de la route 175.*

### **2.3 Inventaires de pistes aux secteurs clôturés**

L'efficacité des clôtures électriques a été évaluée par des inventaires hebdomadaires de pistes d'orignaux aux sites clôturés réalisés entre la mi-mai et la mi-août. Ces inventaires ont été réalisés à un intervalle moyen de 7 jours. L'efficacité de la 169C a pu être évaluée à l'aide d'inventaires réalisés le long de la route avant (étés 2003-2004) et après (été 2005) son installation. Comme la 175C a été érigée avant le début de l'étude, son efficacité a été évaluée en comparant le nombre de pistes d'orignaux de part et d'autre de la clôture électrique (*i.e.*

pistes du côté de la route et du côté de la forêt par rapport à la clôture) au cours des étés 2003 à 2005, des deux côtés de la route. Comme les relevés effectués dans le secteur clôturé de la 169C ont été faits à partir du bord de la route, le nombre de pistes du côté de la forêt n'a pas pu y être estimé et les inventaires ont pu être réalisés d'un seul côté de la route. Toutefois, la démarche employée à la 169C s'avère la meilleure pour comparer l'efficacité de la clôture électrique à réduire la probabilité d'accident routier. De plus, il aurait été impossible de déterminer la position des pistes par rapport à la clôture électrique avant l'installation de cette dernière. Pour chaque secteur clôturé, un secteur témoin de même longueur (5 km sur la 175, 10 km sur la 169) a aussi été inventorié au cours des trois étés afin d'évaluer les variations interannuelles de fréquentation par l'orignal indépendamment de l'effet du traitement.

À chaque visite, le nombre de pistes, leur emplacement et leur direction par rapport à la clôture, ainsi que leur positionnement GPS étaient notés. Les indices permettant de croire qu'un orignal avait traversé la clôture étaient recherchés attentivement. Les pistes étaient effacées ou peintes suite à leur décompte. La fréquentation des passages à faune était aussi évaluée par inventaires de pistes selon la même méthode. Au passage de la 175C, des trappes de sable de 2 m X 2 m situées au centre des deux sentiers ont facilité la lecture des pistes. Le passage à faune de la 169C, où le sol a été mis à nu afin de permettre la lecture des pistes, a été visité au cours de l'été 2005.

À chaque visite, le voltage sur les quatre câbles conducteurs de la clôture électrique était mesuré avec un voltmètre (Speedrite TRU-TEST) et ce, à chaque borne kilométrique (10 stations d'échantillonnage par clôture). Les défauts de la clôture électrique et les chutes de voltage étaient habituellement réparés sur-le-champ. L'abondance de la végétation le long des sentiers parcourus pour les inventaires de pistes a été évaluée en juillet 2005, lorsque les plantes herbacées et les graminées avaient atteint leur plein développement, dans le but d'évaluer leur effet sur la lecture des pistes d'originaux. Chaque segment différent se voyait attribué un indice de visibilité : 1 = bonne, dans le cas où la végétation ne causait pas de problème lors de la lecture des pistes, 2 = réduite, dans le cas où la végétation couvrait 50 % à 95 % du sol, ou 3 = faible, dans le cas où la végétation recouvrait presque entièrement (> 95 %) le sol. Cette mesure a été réalisée à la 175C seulement, du côté de la forêt par rapport à la clôture électrique, où celle-ci empêchait les observateurs d'atteindre et de pousser les plantes pour faciliter le dénombrement des pistes.

## 2.4 Analyses statistiques

Les inventaires réalisés lors de la première semaine de chaque été n'ont pas été utilisés dans les analyses statistiques, puisqu'il était impossible de déterminer la période exacte durant laquelle les pistes avaient été laissées par les orignaux. Comme la période durant laquelle la 175C était hors tension pouvait durer quelques semaines (entre la fonte de la neige et le premier relevé), l'efficacité de cette clôture électrique aurait été sous-estimée en début de saison. L'efficacité de la 169C a été testée à l'aide d'un test de  $t$  pour échantillons indépendants comparant les différences entre le nombre de pistes aux secteurs témoin et clôturé, entre les périodes avant et après l'installation de la clôture électrique. Ce test est basé sur la démarche BACI (*Before-After Control-Impact*; Green 1979) améliorée par Stewart-Oaten *et al.* (1984). Puisque les données ne respectaient pas les critères d'application du test, la valeur de  $t$  obtenue a été comparée à la distribution obtenue par ré-échantillonnage par permutation aléatoire (1000 itérations). L'efficacité de la 175C a été évaluée en calculant les intervalles de confiance à 95% de la différence entre le nombre de pistes du côté de la forêt et le nombre de pistes du côté de la route par rapport à la clôture électrique. L'effet des défauts de la clôture électrique (*i.e.* interruptions du voltage) sur le nombre de pistes observées du côté de la route le long de la 175C a été testé à l'aide d'un test de  $G$ . La probabilité d'occurrence des accidents impliquant l'orignal sur les segments clôturés des routes 175 et 169 avant l'installation des clôtures électriques a été mesurée à l'aide de statistiques compilées depuis 1990 (Poulin 1999, Poulin et Fortin 2005). Les analyses ont été réalisées avec les logiciels Systat 10.0 (SPSS inc. 2000) et SAS 8.00 (SAS Institute inc. 1999). Un seuil de signification de 0,05 a été utilisé dans toutes les analyses statistiques.

## 3.0 Résultats

### 3.1 Fonctionnement de la clôture électrique

Les clôtures électriques étaient opérationnelles lors de 35 des 41 inventaires (85%). Les six cas problématiques ont eu lieu à la 175C, soit lors de trois inventaires en 2004 et trois en 2005. À la 175C, la proportion des pistes recensées du côté de la route par rapport au nombre de pistes total était significativement plus élevée durant les six visites où la clôture électrique

n'était pas fonctionnelle ( $G = 6,80$ ,  $dl = 1$ ,  $p = 0,009$ ). Lorsque les clôtures électriques étaient opérationnelles, de grandes variations de voltage ont été enregistrées entre les visites ainsi qu'entre les différentes stations de mesure lors d'une même visite (min.=0,2 kV, max.=10,0 kV; Figure 2). Cependant, la norme requise pour un fonctionnement normal (5,0 kV selon le fabricant *Electrobraid*<sup>TM</sup>) était atteinte ou dépassée dans 71 % (963 / 1352) des lectures réalisées lorsque les clôtures électriques étaient opérationnelles.

### 3.2 Fréquentation du bord de la route par l'original dans les secteurs clôturés

La fréquentation des secteurs clôturés et témoins a varié au cours des étés et entre les étés (voir Figures 3 et 4). Le patron annuel de fréquentation par l'original était caractérisé par des pics de forte fréquentation en juin et en juillet, suivis d'une importante diminution en août. La différence entre le nombre de pistes d'originaux recensées dans le secteur clôturé et le secteur témoin de la 169C a été plus importante à l'été 2005, au moment où la clôture électrique était installée, comparativement aux étés précédents ( $p = 0,001$ , test de  $t$  avec permutation). La moyenne des différences était presque nulle avant l'installation de la clôture électrique (Tableau 1) alors qu'après, le nombre de pistes dans le secteur clôturé n'a jamais été plus élevé que dans le secteur témoin; il était généralement beaucoup plus faible (Figure 3).

Le nombre moyen de pistes d'originaux laissées du côté de la route par rapport à la clôture électrique 175C a toujours été plus faible que le nombre moyen de pistes laissées du côté de la forêt (Figure 4). Peu d'originaux ont fréquenté le secteur témoin de la 175C, mais le patron de fréquentation dans ce secteur était tout de même semblable à celui du secteur clôturé. La clôture électrique 175C a empêché un nombre significatif d'originaux d'atteindre la chaussée, puisque les intervalles de confiance à 95 % n'incluent pas la valeur 0 pour chaque année (Tableau 2). L'estimation de l'abondance de la végétation réalisée à la 175C a permis d'établir que 558 m de clôture électrique (6 %) avaient une visibilité des pistes réduite, et 950 m (10 %) avaient une visibilité faible.

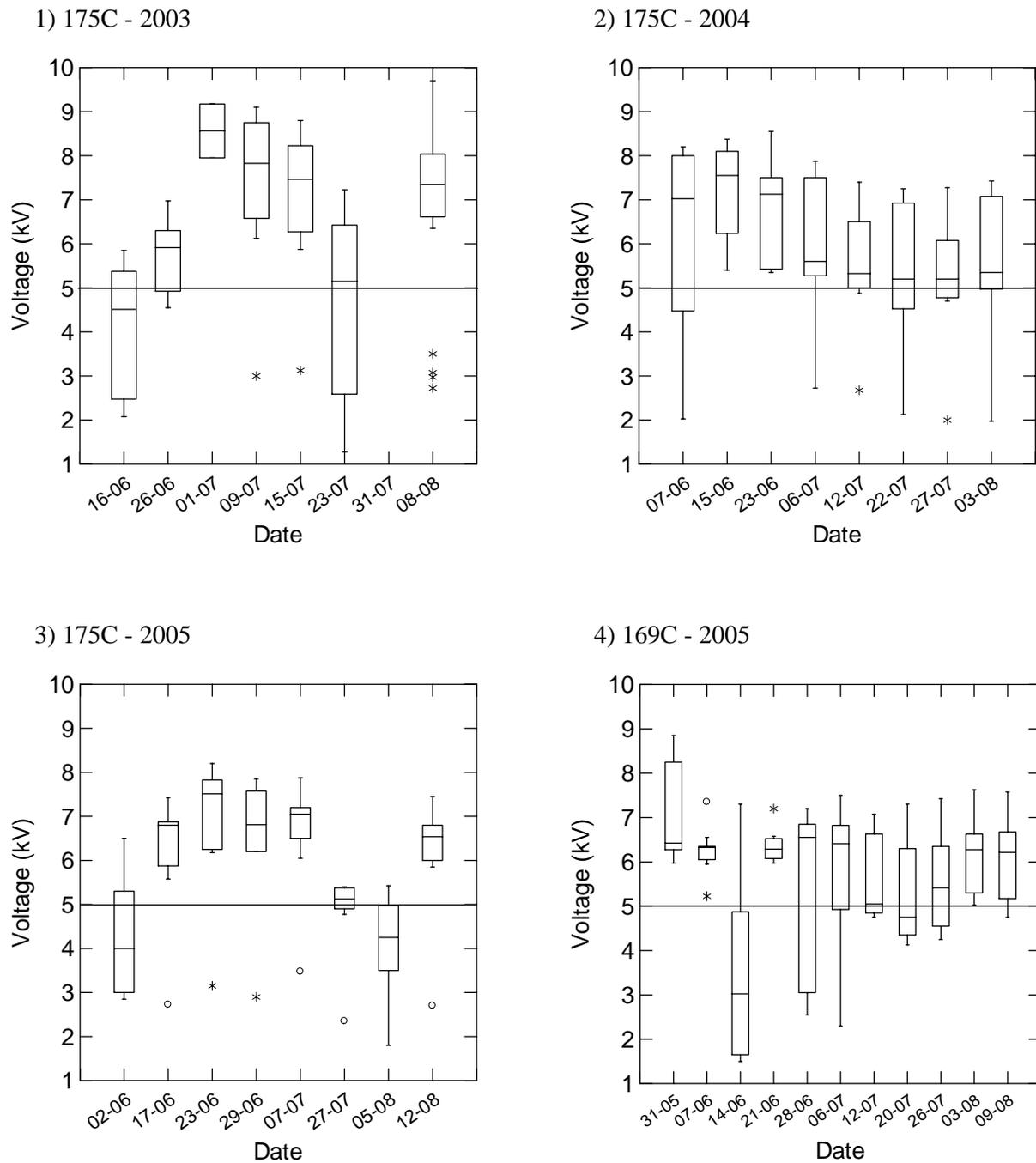


Figure 2. Voltage (kV) des quatre câbles conducteurs, mesuré chaque semaine 1) à la 175C en 2003, 2) à la 175C en 2004, 3) à la 175C en 2005 et 4) à la 169C en 2005. Les boîtes à moustaches indiquent la médiane ainsi que les quartiles du voltage moyen mesurés aux différentes stations d'échantillonnage le long de la clôture. La ligne horizontale représente la valeur de fonctionnement normal de 5 kV suggérée par le fabricant.

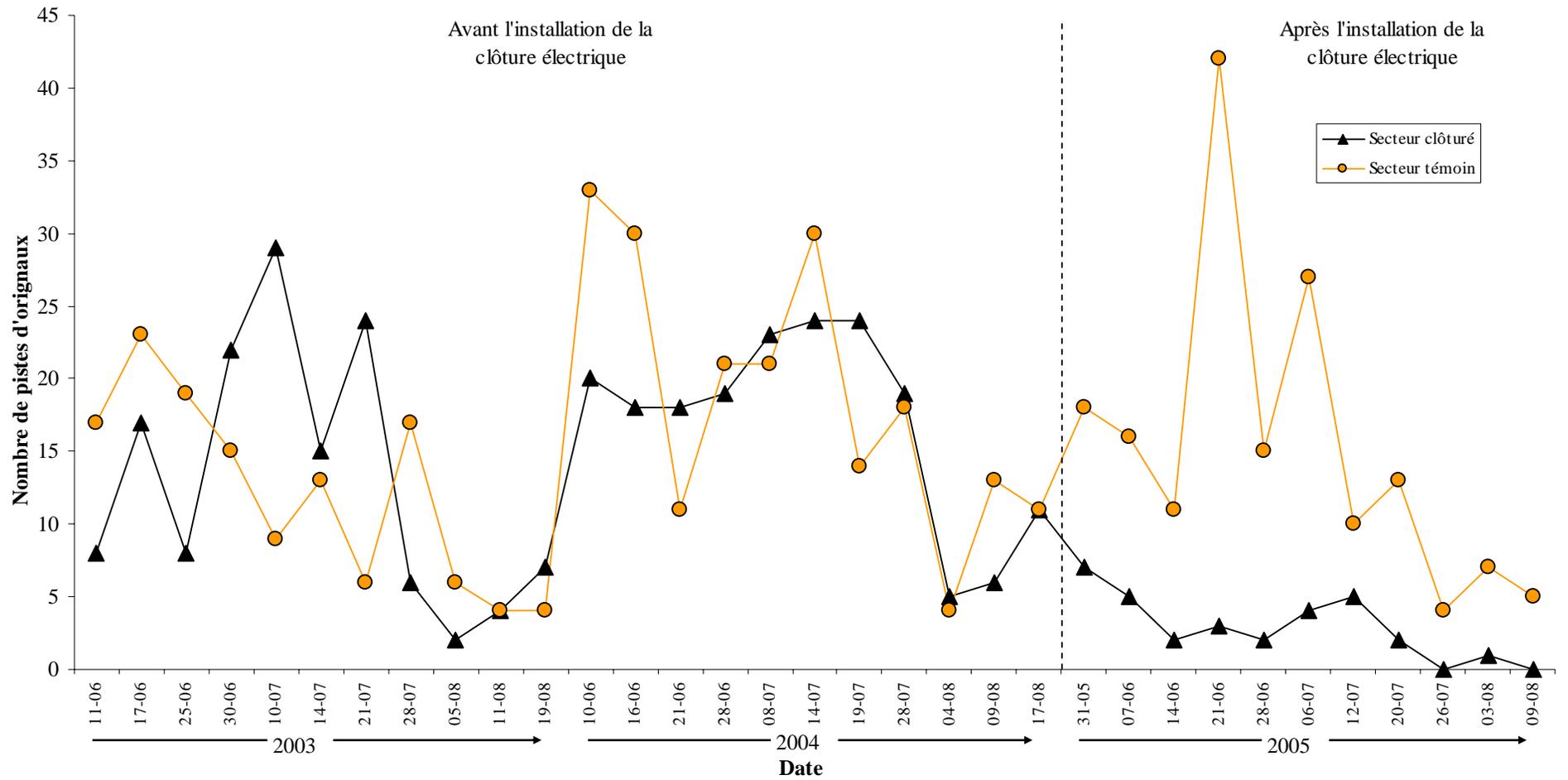


Figure 3. Nombre total de pistes d'originaux recensées par période dans les secteurs clôturé et témoin de la 169C au cours des étés 2003 à 2005.

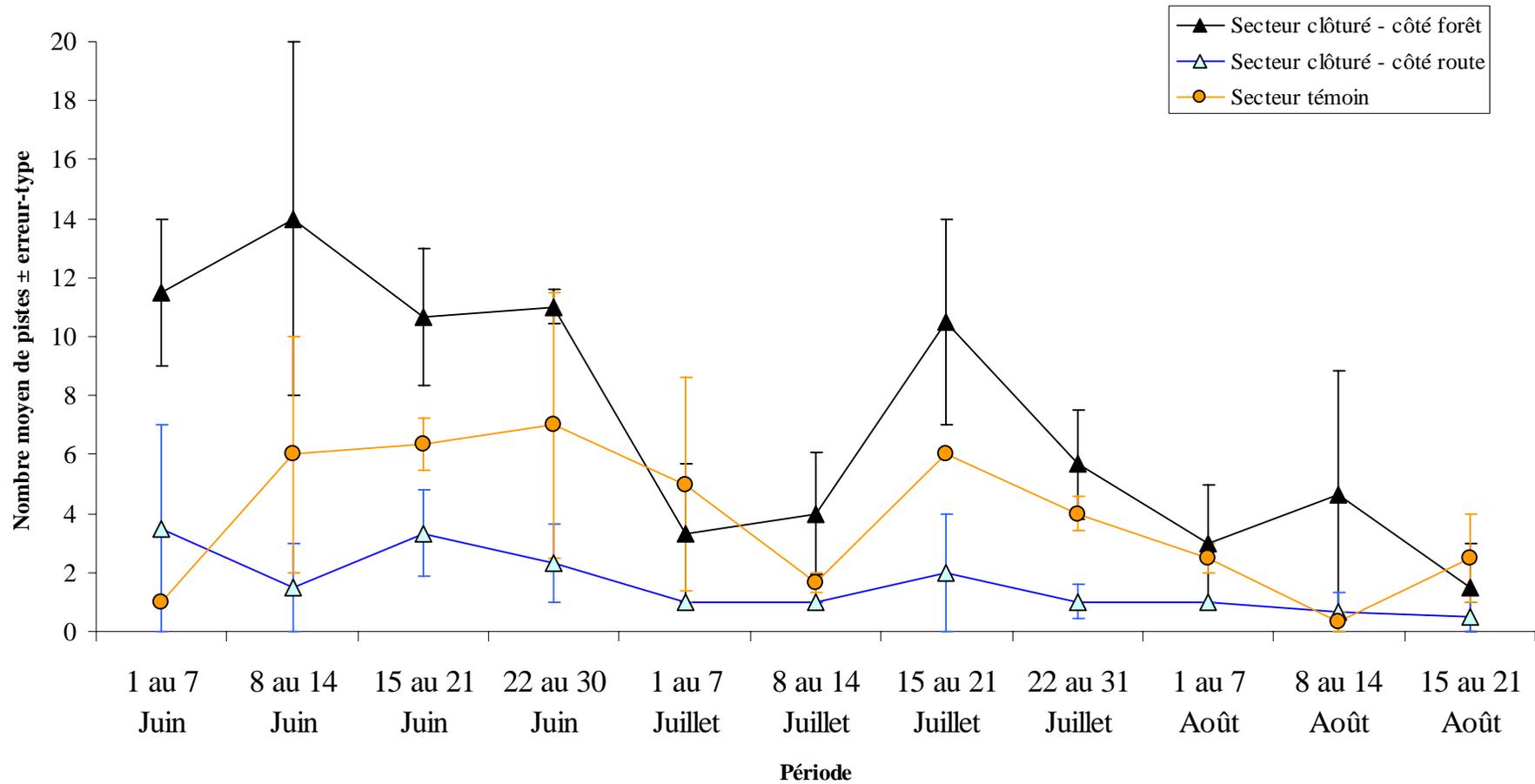


Figure 4. Nombre annuel moyen de pistes d'originaux recensées dans les secteurs clôturé et témoin de la 175C au cours des étés 2003 à 2005 (clôture installée en 2002). Les pistes recensées dans le secteur clôturé sont distinguées d'après leur position par rapport à la clôture électrique.

Tableau 1. Moyenne, erreur-type et intervalles de confiance à 95 % des différences entre le nombre de pistes d'originaux recensées dans le secteur clôturé et le secteur témoin de la 169C, avant (n = 2 ans) et après (n = 1 an) l'installation de la clôture électrique. Une valeur négative (-) indique un nombre plus élevé de pistes dans le secteur clôturé.

	n	Moyenne	Erreur-type	I.C. 95%	
				borne inf.	borne sup.
Avant	19	0,526	2,163	-4,019	5,072
Après	11	12,455	3,102	5,542	19,367

Tableau 2. Moyenne, erreur-type et intervalles de confiance à 95 % des différences entre le nombre de pistes d'originaux recensées du côté de la forêt et du côté de la route par rapport à la clôture électrique de la 175C, par année. Une valeur négative (-) indique un nombre plus élevé de pistes du côté de la route.

	n	Moyenne	Erreur-type	I.C. 95%	
				borne inf.	borne sup.
2003	9	9,556	1,608	5,847	13,264
2004	9	3,222	1,199	0,457	5,988
2005	10	3,900	1,303	0,952	6,848

### 3.3 Traversées de la clôture électrique par l'orignal

Seulement 25 % des pistes retrouvées du côté de la route par rapport à la clôture électrique ont été laissées par un orignal qui avait de toute évidence franchi la clôture lorsqu'elle était en fonction (9 / 45 dans le secteur 175C, 10 / 31 dans le secteur 169C). Dans deux cas, la proximité des pistes ont permis de supposer que deux traversées avaient été effectuées par un même animal. Selon nos observations, au moins 14 (18,4 %) des pistes recensées du côté de la route dans les secteurs 175C et 169C ont été laissées par des orignaux qui ont atteint la route en passant par des ouvertures dans la clôture électrique (e.g., interruption de la clôture au niveau d'un lac ou d'un chemin forestier). De plus, 9 (11,8 %) autres pistes étaient situées à <100 m de ces ouvertures. Bien que nous n'en ayons pas la preuve, il semble probable que ces individus aient également accédés au corridor clôturé en passant par ces mêmes ouvertures. Enfin, 8 (10,5 %) autres pistes étaient situées à <100 m des extrémités des clôtures électriques. Encore une fois, il est fort probable que ces individus se soient infiltrés dans le corridor clôturé par ces extrémités, donc sans franchir directement la clôture. Dans plusieurs cas (26 pistes côté route), le trajet emprunté par l'orignal n'a pas pu être déterminé car la piste disparaissait sur un substrat dur ou suite aux intempéries. Il est à noter que six pistes additionnelles d'orignaux qui ont traversé la clôture électrique ont été recensées au cours des inventaires réalisés lorsque la 175C était hors tension (6 inventaires).

Chaque piste du côté de la route ainsi que les traversées recensées à la 175C au cours des trois étés sont présentées aux Figures 5, 6 et 7. Vingt-huit et seize pourcent des pistes recensées du côté de la route furent observées au niveau de l'ouverture laissée dans la clôture électrique devant le lac Tourangeau et à moins de 100 m des extrémités nord et sud de la clôture, respectivement. Aucune explication ne permet d'expliquer la concentration de pistes recensées à environ 500 m au sud du lac Tourangeau en 2004. Il est à noter que la plupart de ces pistes ont été observées lors d'inventaires réalisés à des dates différentes.

Chaque piste du côté de la route ainsi que les traversées recensées à la 169C en 2005 sont présentées à la Figure 8. Vingt-trois et treize pourcent des pistes recensées du côté de la route furent observées au niveau de l'ouverture laissée dans la clôture électrique devant le chemin forestier du barrage 3, près de la borne kilométrique 35 (côté est; Figure 8), et à moins de

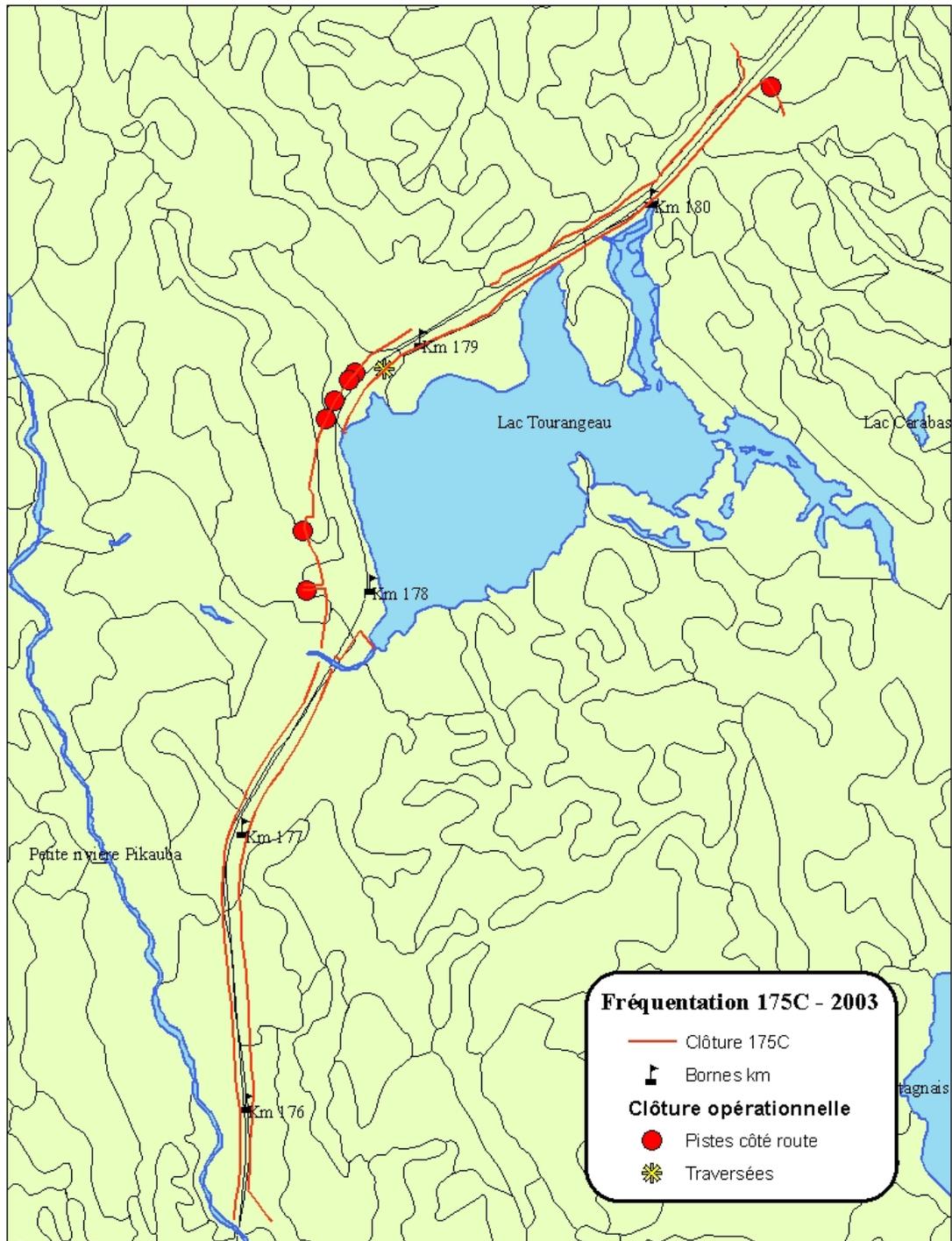


Figure 5. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 175C en 2003.

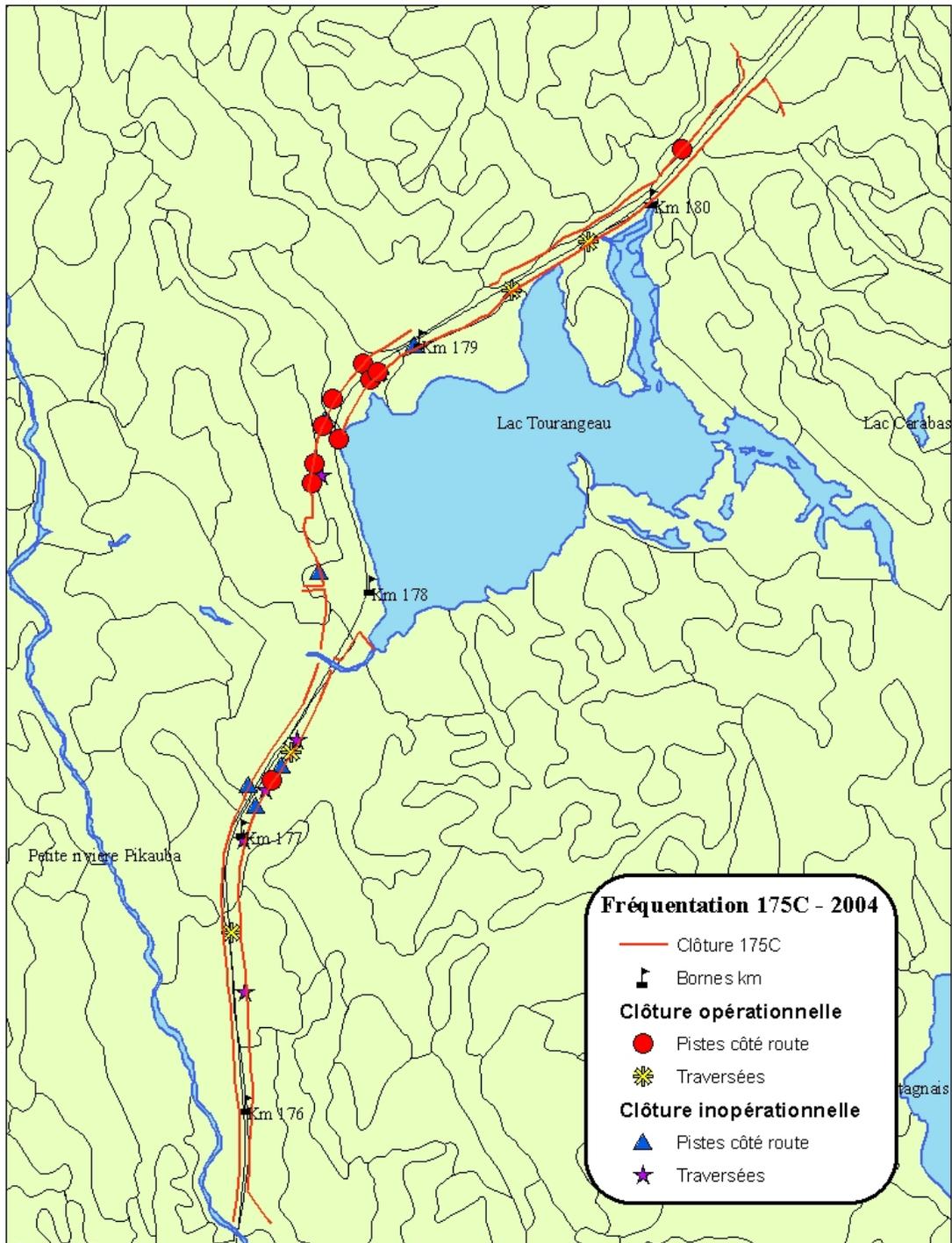


Figure 6. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 175C en 2004. Les pistes sont distinguées selon le statut (opérationnelle ou non) de la clôture électrique.

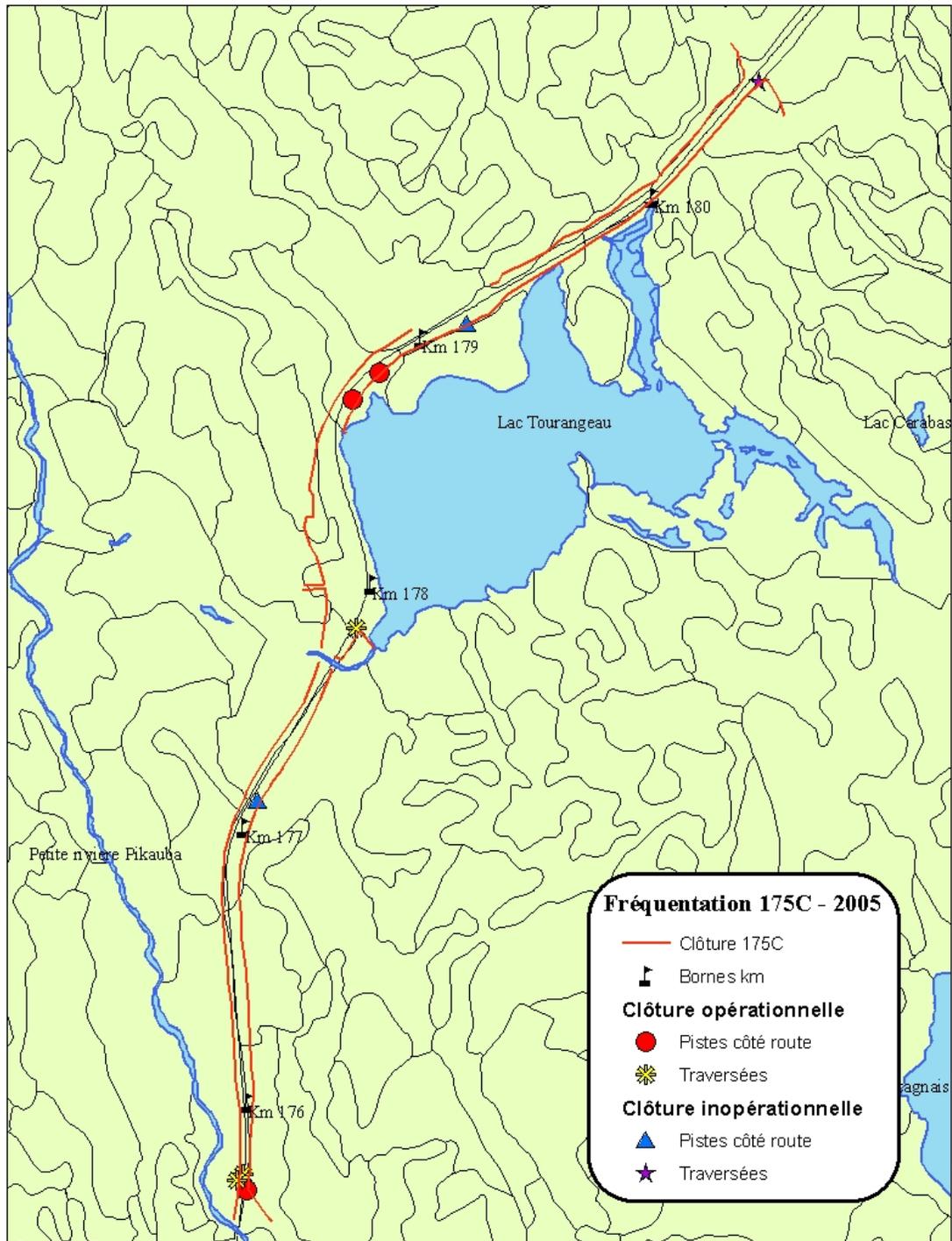


Figure 7. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 175C en 2005. Les pistes sont distinguées selon le statut (opérationnelle ou non) de la clôture électrique.

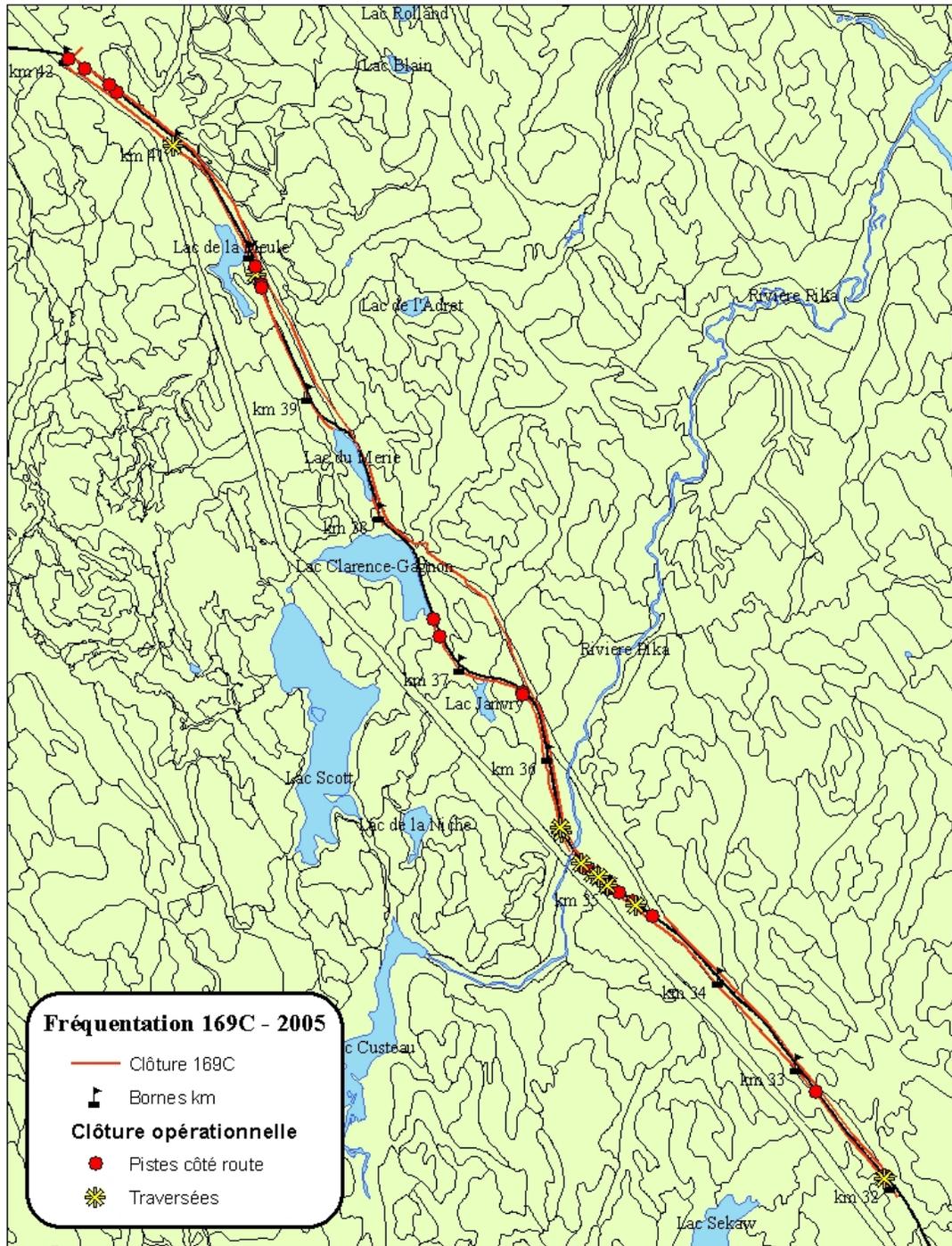


Figure 8. Localisation des pistes observées du côté de la route et des pistes qui ont traversé la clôture électrique 169C en 2005.

100m des extrémités nord et sud de la clôture, respectivement. Le segment clôturé faisant face à l'ouverture du chemin forestier du barrage 3 est l'endroit où le plus grand nombre d'orignaux ont traversé la clôture électrique (4 cas en un an).

### **3.4 Utilisation des passages à faune par l'orignal**

Des signes d'activité de l'orignal ont été observés dans le passage à faune de la 175C à 15 reprises sur un total de 33 visites (45 %) au cours des trois étés. De ces 15 visites où des pistes étaient présentes, 7 (47%) comportaient plus d'une piste. Quant au passage à faune de la 169C, des pistes d'orignal ont été observées lors de 7 des 11 visites (64 %) effectuées à l'été 2005, dont 5 (71%) comportaient plus d'une piste.

### **3.5 Efficacité de la clôture électrique à réduire le risque d'accident routier**

Les clôtures électriques ont empêché le passage de la majorité des orignaux. Cependant, certains individus ont tout de même réussi à s'introduire dans le corridor clôturé, principalement au niveau des ouvertures laissées à la hauteur des chemins forestiers et des lacs, ou encore par les extrémités de la clôture. Par exemple, 2,8 pistes par semaine ont été recensées en moyenne du côté de la chaussée dans le secteur clôturé de la 169C en 2005. Cette fréquentation était beaucoup plus faible que celle recensée dans le même secteur au cours des deux étés précédents, avant l'installation de la clôture, de même que dans le secteur témoin au cours des trois étés (15,0 et 15,4 pistes par semaine en moyenne, respectivement). L'efficacité de la 169C à réduire le risque d'accident peut être estimée en comparant le nombre moyen de pistes d'orignaux atteignant la route avant et après son installation, soit 81%.

Dans le secteur clôturé de la 175C, en moyenne 1,4 pistes par semaine ont été recensées du côté de la route au cours des trois étés. L'efficacité de cette clôture a été estimée cette fois en comparant le nombre moyen de pistes d'orignaux du côté de la route au nombre moyen de pistes du côté de la forêt, soit 76 %. Il est à noter que l'efficacité de la 175C atteint 84 % lorsque les six visites durant lesquelles la clôture électrique n'était pas fonctionnelle sont retirées du calcul.

Aucun accident impliquant l'orignal n'a été reporté dans les secteurs clôturés depuis l'installation des clôtures électriques alors qu'il y en avait en moyenne 5,3 et 1,4 par année dans les secteurs de la 169C et de la 175C, respectivement, avant l'installation des clôtures électriques. Avant l'installation de la clôture électrique sur la route 169, il n'y avait jamais eu une année sans accident le long du tronçon de 10 km de la 169C depuis 1990 (aucune statistique précise n'est disponible avant 1990). La probabilité de n'obtenir aucun accident durant trois années consécutives dans le secteur de la 175C était de 1,56 % avant l'installation de la clôture électrique. Le nombre de collisions impliquant l'orignal a donc été réduit de façon significative sur les deux tronçons clôturés (169C :  $p = 0,000$ ; 175C :  $p = 0,0156$ ).

### **3.6 Coûts de construction et d'entretien de la clôture électrique**

Le coût du matériel nécessaire pour ériger ce type de clôture électrique a été estimé à 14,80\$ / m. La préparation du terrain (coupe des arbres et décapage du sol) a coûté 4,15\$ / m. Dans les secteurs où le substrat en surface est très dur, des forages (50,00\$ / chacun) peuvent être nécessaires afin de fixer solidement les poteaux dans le sol. Lors de l'installation de la 169C, 150 de ces forages ont été réalisés. Le coût de la main-d'œuvre a été estimé à 6,00\$ / m. À ces coûts (24,95\$ / m au total, en plus des forages) s'ajoutent 5 000\$ pour l'équipement électrique (transformateur, disjoncteur, boîte électrique, etc.) et le montant nécessaire pour la construction des passages à faune. Dans le cas d'un passage sous un pont, comme celui de la route 175, la construction peut s'avérer très coûteuse si celle-ci n'est pas réalisée au moment de la construction de la route elle-même. Dans le cadre de cette étude, seuls les deux sentiers de part et d'autre de la rivière ont dus être aménagés à l'aide d'une pelle mécanique, représentant une dépense d'environ 5 000\$. Pour sa part, le passage à faune sur la chaussée avec détection au laser coûte généralement moins de 10 000\$. Finalement, l'entretien annuel de la clôture électrique a été estimé à  $\sim 0,50\$ \text{ m}^{-1} \text{ an}^{-1}$  (tous les coûts sont exprimés en dollars canadiens de 2005). Il est important de réaliser que les coûts présentés ici sont ceux encourus dans le contexte des projets concernés, sur des terrains relativement difficiles. Ces coûts sont susceptibles de varier d'un projet à l'autre.

## 4.0 Discussion

### 4.1 Fonctionnement de la clôture électrique

Le modèle de clôture électrique utilisé dans cette étude n'est pas une barrière physique infranchissable. Elle est faite de câbles flexibles, tendus à une hauteur aisément franchissable par un orignal. L'efficacité de la clôture électrique repose plutôt sur le conditionnement des animaux qui la touchent. Elle peut entraîner un comportement d'évitement à long terme chez l'animal si l'expérience est suffisamment déplaisante (Poole *et al.* 2004). La clôture électrique s'est avérée efficace dans un contexte d'interférence à la ressource (McKillop et Sibly 1988, Cowan et Rhodes 1992, McKillop *et al.* 1998, Poole *et al.* 2002, Poole et McKillop 2002, Wicks 2002, mais voir Geisser et Reyer 2004). Toutefois, cette étude est une des premières à démontrer l'efficacité de la clôture électrique pour réduire le risque d'accidents routiers impliquant la grande faune.

Un changement drastique et de longue durée du comportement d'un animal ne peut être obtenu que s'il reçoit un choc électrique de forte intensité dès sa première rencontre avec la clôture électrique (McKillop et Sibly 1988). En effet, les animaux sauvages étudient les objets non familiers (comme la clôture électrique) rencontrés pour la première fois à l'aide de leur museau. Or, cette région du corps est peu isolée et fortement innervée, de sorte que le choc ressenti par l'animal est généralement sévère (McKillop et Sibly 1988). Si un animal apprend à traverser la clôture électrique alors qu'elle n'est pas opérationnelle, de futures traversées par cet individu sont plus probables, même si le courant est rétabli (Poole *et al.* 2004). L'animal ayant appris à traverser la clôture électrique touchera alors les câbles avec son corps recouvert de poils, isolant l'animal contre un choc électrique important (McKillop et Sibly 1988). Les interruptions du courant doivent donc être évitées et les bris doivent être réparés rapidement afin d'assurer l'efficacité de la clôture électrique.

Dans le but de réduire l'occurrence des baisses de tension, une toile géotextile a été déposée sous certains segments de la clôture électrique afin d'empêcher la croissance des végétaux. Ces derniers, lorsqu'ils atteignent les câbles, peuvent agir comme mises à la terre et en diminuer le voltage. Comme la toile géotextile ne peut pas être installée partout (*e.g.*, relief ou présence d'un cours d'eau), il est possible d'utiliser des herbicides ou un dégagement

mécanique des plantes herbacées dans les secteurs problématiques. Un entretien régulier de la toile géotextile s'avère aussi nécessaire pour s'assurer qu'elle demeure bien en place suite aux intempéries. Le contact des plantes avec la clôture électrique pourrait expliquer la diminution du voltage observée au cours de l'été 2004 à la 175C (voir Figure 2). En effet, la croissance graduelle des plantes aurait causé l'augmentation de la fréquence des contacts avec les câbles supérieurs, diminuant progressivement les valeurs de voltage mesurées au cours de l'été. Toutefois, d'autres facteurs (*e.g.* humidité, lignes à haute tension) ont pu avoir un effet important au cours des autres étés, expliquant en partie la variabilité observée dans les mesures de voltage en 2003 et 2005 (voir Figure 2). Poole *et al.* (2004) ont observé une diminution du nombre de traversées de la clôture électrique par le blaireau (*Meles meles*) lorsque la valeur de voltage était augmentée. Une telle relation n'a pas été observée dans la présente étude avec l'orignal. Toutefois, l'arrêt complet du voltage est plus inquiétant que la baisse de voltage causée par les plantes herbacées. Poole et McKillop (1999) ont démontré que les clôtures électriques non fonctionnelles étaient complètement inefficaces à bloquer le passage des blaireaux. Ce problème peut survenir lorsque les câbles sont sectionnés ou lorsque l'alimentation en énergie est interrompue à la source. La deuxième situation est survenue à six reprises au cours de cette étude. Ces interruptions du courant ne sont survenues qu'à la 175C et elles ont été causées à chaque fois par le disjoncteur. Cet appareil, qui devait permettre d'interrompre le courant lorsqu'un animal se prend dans les câbles, a semblé trop sensible et a causé l'interruption du courant dans des situations qui ne le requièrent probablement pas. Un nouveau disjoncteur, dont le fonctionnement a été amélioré, a été utilisé à la 169C afin d'assurer un rendement optimal de la clôture électrique. Ce nouveau disjoncteur a semblé efficace puisqu'il n'a pas fait défaut au cours de l'été 2005.

#### **4.2 Fréquentation du bord de la route par l'orignal dans les secteurs clôturés**

Les inventaires de pistes ont sans contredit procuré des estimations conservatrices de la fréquentation des sites par l'orignal, surtout le long du secteur clôturé de la 175C où le substrat était variable et la végétation au sol présente. En effet, certaines pistes n'ont pu être comptées puisque laissées sur un substrat très dur, masquées par une végétation abondante (*e.g.* visibilité réduite à faible sur 16 % de la longueur totale de la 175C) ou encore effacées par les intempéries entre les inventaires. Dans les secteurs témoins et le long de la clôture sur la route 169, le substrat était toujours meuble et sans végétation puisque les relevés étaient

réalisés sur l'accotement des routes. Dans ces secteurs, ce sont principalement les intempéries qui ont contribué à biaiser l'inventaire.

Malgré ces limitations, notre méthode a permis de tester l'efficacité de la clôture électrique puisque les mêmes biais existaient dans les différents secteurs. De toute évidence, les clôtures électriques ont permis de réduire la présence d'orignaux du côté de la route de façon significative. Bien que le dispositif expérimental était meilleur sur la route 169 (avant-après), les résultats étaient aussi sans équivoque sur la route 175. La démarche BACI (*Before-After Control-Impact*; Green 1979) utilisée dans l'étude de la 169C a été critiquée et améliorée par d'autres auteurs (Stewart-Oaten *et al.* 1986, Eberhardt et Thomas 1991, Underwood 1991, 1994, Osenberg *et al.* 1994). Entre autres, Stewart-Oaten *et al.* (1986) ont ajouté le concept de réplication temporelle dans ce type d'étude. Selon eux, plusieurs mesures indépendantes doivent être réalisées avant et après le traitement, dans le secteur traité ainsi que dans le secteur témoin. Dans le cas de la 169C, les différents inventaires ont été considérés comme les répliqués temporels indépendants, puisqu'un intervalle moyen de sept jours a été maintenu entre les visites et que les pistes étaient effacées à chacune de nos visites. Underwood (1991, 1994) a souligné l'intérêt d'avoir une réplication spatiale dans les analyses BACI, notamment en ayant plusieurs secteurs témoins. Dans notre cas, il était impossible d'obtenir une réplication spatiale étant donné l'ampleur des coûts impliqués. De plus, inventorier d'autres sites aurait demandé beaucoup de temps et n'aurait pas permis de réaliser les relevés simultanément (la même journée), ce qui est essentiel dans ce genre d'étude (Stewart-Oaten *et al.* 1986). Cependant, les résultats obtenus à la 175C supportent ceux de la 169C, et ils démontrent l'efficacité de la clôture électrique.

L'analyse du patron de fréquentation des secteurs clôturés par l'original indique une diminution importante à la fin de l'été. Cette diminution pourrait être associée à l'action de la clôture électrique sur le comportement des orignaux fréquentant ce secteur. McKillop et Sibly (1988) ont observé que l'évitement d'une clôture électrique au sein d'une population en contact avec celle-ci augmentait graduellement avec le temps. Cet évitement peut apparaître même si une petite proportion des individus de la population entre en contact avec la clôture électrique, grâce à l'apprentissage fait par l'observation entre individus. Toutefois, l'apprentissage par observation est peu probable chez l'original, une espèce plutôt solitaire, bien qu'il puisse s'observer entre la mère et le faon ou au sein d'un groupe d'individus. Puisque le patron de fréquentation de l'original dans les secteurs témoins était semblable à

celui des secteurs clôturés, il est peu probable que ce changement saisonnier s'explique par une réaction comportementale de l'orignal face à la clôture électrique. Les orignaux fréquentent peut-être moins le bord des routes vers la fin de l'été alors que les plantes aquatiques, riches en sodium, sont disponibles (Fraser *et al.* 1980). Cette diminution de la fréquentation des bords de route par l'orignal en août supporte les conclusions de Dussault *et al.* (2004) indiquant que les risques d'accident avec l'orignal sont maximaux au début et au milieu de l'été et relativement moins élevés vers la fin de l'été et à l'automne. La fréquentation des mares salines par l'orignal semble aussi diminuer de façon notable à cette période de l'été (M. Leblond, obs. pers.). Une étude impliquant des orignaux marqués de colliers GPS, présentement en cours dans la réserve faunique des Laurentides, permettra également de vérifier ces hypothèses.

#### **4.3 Traversées de la clôture électrique par l'orignal**

La clôture électrique, lorsqu'en fonction, s'est avérée très efficace puisqu'elle a permis de repousser la très grande majorité des orignaux qui l'ont approché. Cependant, certains orignaux ont tout de même circulé dans le corridor clôturé. Parmi ceux-ci, quelques-uns ont réussi à traverser directement la clôture électrique (19 cas recensés lorsque la clôture électrique était opérationnelle), mais la plupart l'ont contournée en empruntant différentes ouvertures. Au total, les ouvertures représentaient 720 m de segments non clôturés le long de la 175C, et 1 720 m le long de la 169C. Les plus grandes ouvertures furent laissées face à des lacs que l'on présumait être des obstacles naturels au passage des orignaux. Cette étude a démontré que les lacs (comme le lac Tourangeau, près de la route 175) n'empêchent pas les orignaux d'accéder à la route (voir Figures 5, 6 et 7). Les autres ouvertures, plus petites, étaient laissées pour le passage des chemins forestiers. Un de ces chemins (chemin du barrage 3) est à l'origine de la plupart des traversées de la 169C en 2005 (voir Figure 8). Une fois la route traversée, les orignaux se retrouvaient à l'intérieur du corridor clôturé, créant un risque d'accident routier. Ces ouvertures devraient être évitées dans l'installation future des clôtures électriques, afin d'assurer une meilleure étanchéité du corridor clôturé.

La plupart des orignaux qui ont rencontré la clôture électrique ont choisi de la longer ou de retourner en forêt plutôt que d'essayer de la traverser. McKillop et Sibly (1988), dans leur revue de littérature sur l'utilisation de la clôture électrique, ont trouvé que la fuite était le

comportement le plus fréquemment observé chez les animaux soumis à un choc électrique. La fuite se fait généralement vers le couvert forestier le plus proche, mais il peut arriver que l'animal tente de fuir à travers la clôture électrique, ne sachant pas d'où vient le danger. Ce comportement a été observé chez le cerf de Virginie (Floyd 1960) et le coyote (*Canis latrans*) (Thompson 1978). Ce type de comportement pourrait poser problème dans le contexte routier, puisque l'animal serait par la suite confiné au corridor clôturé. Toutefois, comme nous l'avons déjà mentionné, la clôture électrique n'est pas une barrière infranchissable comme le sont les clôtures métalliques conventionnelles, et ceci facilite le retour en forêt des orignaux stressés. Le retour en forêt des orignaux pourrait être facilité davantage en installant des grilles à sens unique (Reed *et al.* 1974) ou des rampes de terre à intervalle régulier le long des clôtures électriques. McKillop et Sibly (1988) ont aussi relevé le problème des animaux qui ne voient pas la clôture électrique et qui la traversent de façon accidentelle. Cependant, la couleur blanche de la clôture électrique testée la rend assez facilement détectable durant le jour. Thompson (1979) a démontré que les coyotes étaient capables de traverser les clôtures électriques sans prendre de choc. Toutefois, il est impossible pour un orignal de se faufiler entre les câbles étant donné sa taille. Enfin, un orignal pourrait apprendre à sauter par-dessus la clôture électrique. Ce comportement a été observé très peu souvent, même chez des espèces très agiles comme le lapin (*Oryctolagus cuniculus*; McKillop et Wilson 1987) ou le renard roux (*Vulpes fulva*; Minsky 1980). Ces observations suggèrent que l'évitement conditionné par la clôture électrique chez l'animal est souvent plus fort que le désir de la franchir, ce qui lui confère son efficacité.

Depuis l'installation des clôtures électriques, deux orignaux sont morts en tentant de les traverser. Ces derniers étaient des mâles dont le panache s'est emmêlé dans les câbles de la clôture. Un des orignaux est mort par arrêt cardiaque, suite à la réception de plusieurs chocs électriques consécutifs; l'autre, blessé sérieusement à une patte, a été abattu par un agent de conservation de la faune. Ces incidents peuvent difficilement être évités. Cependant, ces chiffres doivent être interprétés en gardant à l'esprit que la clôture électrique a assurément permis de sauver un grand nombre d'orignaux qui seraient morts dans un accident de la route, puisque en moyenne 5,3 et 1,4 accidents avaient lieu chaque année dans les secteurs 169C et 175C, respectivement, avant l'installation des clôtures électriques. Un disjoncteur semblable à celui installé sur la 169C devrait limiter l'occurrence de tels incidents.

#### 4.4 Utilisation des passages à faune par l'orignal

Les orignaux qui ont choisi de longer la clôture électrique pouvaient être des individus ayant déjà appris à l'éviter (Patterson 1977, Cowan et Rhodes 1992). Certaines pistes longeaient la clôture électrique sur plus d'un kilomètre sans jamais se rapprocher des câbles. Ce comportement démontre l'utilité des passages à faune. En effet, les animaux qui longent la clôture électrique auront la chance de rencontrer un passage à faune et pourront accéder à l'autre côté de la route de façon sécuritaire. La littérature portant sur l'efficacité des passages à faune et sur les caractéristiques expliquant leur utilisation est abondante (Reed *et al.* 1975, Foster et Humphrey 1995, Clevenger et Waltho 2000, 2005, Van Wieren et Worm 2001, Little *et al.* 2002, Cain *et al.* 2003, Ng *et al.* 2004). Le dispositif employé dans cette étude ne permettait pas de quantifier l'efficacité des passages à faune, essentiellement à cause des limites de la méthode employée (inventaires de pistes). Notre objectif était plutôt de démontrer leur fréquentation par l'orignal. Bien que les deux passages aient été utilisés régulièrement par l'orignal, il nous apparaît approprié de faire certaines recommandations basées sur la littérature disponible.

D'abord, l'emplacement du passage à faune est une variable importante expliquant son utilisation par l'espèce cible (Foster et Humphrey 1995, Clevenger et Waltho 2005, Ng *et al.* 2004). Le passage doit être situé à un endroit où les animaux traversaient déjà la route avant l'érection de la clôture (dans les vallées, par exemple, qui semblent servir de corridors de déplacement aux orignaux; Dussault *et al.* 2004). Les dimensions des passages à faune sous la route (« *underpass* ») sont aussi importantes. Le respect d'un ratio d'ouverture adéquat (Largeur \* Hauteur / Profondeur), un indice développé par Reed *et al.* (1979) à partir d'études réalisées sur le cerf mulot (*O. hemionus*), permet de limiter l'effet « tunnel » et favorise l'utilisation de ce type de passage à faune. Le passage à faune de la 175C, aménagé sous un pont, avait un ratio d'ouverture de 10,1, une valeur largement supérieure au ratio recommandé de >0,6. Reed (1981) a démontré que le cerf mulot n'était pas craintif lorsqu'il traversait un passage à faune ayant un ratio d'ouverture de 5,1. Un autre point important à considérer dans l'élaboration de ce type de structure est le nombre et la disposition des passages à faune. Dans cette étude, un seul passage a été aménagé le long de chacune des clôtures électriques. Le passage de la 175C traverse la clôture de 5 km en son centre alors que celui de la 169C est situé à 1 km de l'extrémité sud de la clôture de 10 km. Il pourrait être souhaitable d'aménager

un autre passage dans le secteur nord de la 169C, de façon à permettre aux orignaux fréquentant ce secteur d'accéder aux deux côtés de la route de façon sécuritaire.

Le dispositif utilisé au passage à faune de la 169C permet le déclenchement de panneaux de signalisation dynamique lorsqu'un orignal traverse la chaussée. À notre connaissance, ce type de passage n'a jamais été testé auparavant. Un dispositif semblable, mais avec des panneaux de signalisation statiques, s'est avéré inefficace dans une étude réalisée par Lehnert et Bissonette (1997). Ces auteurs ont relevé deux problèmes majeurs liés à ce type de passage : 1) les automobilistes ne réduisaient pas leur vitesse à l'approche des passages et 2) certains cerfs ont quitté les limites du passage et se sont retrouvés confinés entre les deux clôtures. Le premier problème pourrait être moins fréquent avec l'utilisation de panneaux de signalisation dynamique fonctionnels déclenchés précisément au moment où le danger est présent. Par contre, Pojar *et al.* (1975) ont démontré que les automobilistes réduisaient leur vitesse d'en moyenne 4,63 km/h suite à l'activation d'un panneau dynamique, et que cette diminution n'était pas suffisante pour réduire le nombre d'accidents routiers. Bien qu'ils ne réduisent peut-être pas beaucoup leur vitesse, il est probable que les automobilistes soient plus attentifs à l'approche d'un panneau de signalisation dynamique. Un seul orignal a quitté les limites du passage en une seule occasion au cours de notre étude. Advenant que les intrusions dans le corridor clôturé deviennent régulières, il pourrait être utile d'installer des grilles à sens unique de part et d'autre du passage pour faciliter le retour des orignaux en forêt (Reed *et al.* 1974). Enfin, le système de détection ainsi que les panneaux de signalisation dynamique devront être soumis à un entretien régulier afin d'assurer leur fonctionnement en tout temps. L'arrêt momentané de ce type de système pourrait constituer un risque pour les automobilistes si ces derniers se sont habitués au fonctionnement des panneaux de signalisation dynamique.

#### **4.5 Efficacité de la clôture électrique à réduire le risque d'accident routier**

Les clôtures électriques à l'étude ont été érigées dans des secteurs à haut risque, où des accidents impliquant l'orignal survenaient fréquemment. Leur efficacité à réduire le risque d'accident (76-81 %) a été estimée non seulement en tenant compte des animaux qui ont franchi la clôture directement mais aussi des animaux qui ont contourné les clôtures électriques par les ouvertures ou les extrémités. De plus, les pistes recensées lorsque la clôture électrique n'était pas en fonction ont tout de même été prises en compte dans le calcul de ces

estimations. Ceci permet une évaluation plus réaliste qui tient compte des limites rencontrées lors de l'installation ainsi que des événements imprévisibles (lorsque les six visites durant lesquelles la 175C n'était pas fonctionnelle sont retirées du calcul, l'efficacité de cette clôture passe de 76 % à 84 %). Ce niveau d'efficacité est comparable à ceux mesurés dans les études portant sur la clôture métallique, qui se situent entre 75 % et 90 % (Falk *et al.* 1978, Ward 1982, Feldhamer *et al.* 1986, MacDonald 1991, Clevenger *et al.* 2002). Mais plus important encore, aucun accident ne s'est produit dans les secteurs clôturés durant l'étude suite à l'installation des clôtures électriques. Par contre, il faut spécifier que le risque d'accident n'était pas nul puisque certains orignaux ont malgré tout atteint la chaussée.

#### **4.6 Coûts de construction et d'entretien de la clôture électrique**

Selon les estimations des coûts du matériel et de l'installation fournies par le Ministère des Transports, la clôture électrique sur la route 175 (9 426 m linéaires, de part et d'autre de la route) et son passage à faune ont coûté environ 245 000 \$ et la clôture sur la route 169 (18 181 m linéaires, de part et d'autre de la route) et son passage à faune ont coûté environ 477 000 \$. À titre de comparaison, le coût de la clôture métallique est estimé à environ 60 000 – 100 000\$ / km selon l'ampleur des travaux pour la préparation du sol et le coût des matériaux, sans compter la construction des passages à faune (British Columbia Ministry of Transportation 2000, de Bellefeuille et Poulin 2003). Une clôture métallique de 10 km (même longueur que la 169C) et son passage à faune auraient coûtés entre 610 000 \$ et 1 010 000 \$. L'entretien annuel de la clôture électrique a coûté environ 4 713 \$ sur la 175C et 9 091 \$ sur la 169C. Il est à noter qu'à ces frais d'entretien s'ajoutent des frais annuels d'électricité, inconnus dans cette étude. Ces frais sont cependant minimes puisque Redmond (2005) estime à 7,50\$ / mois les frais d'électricité pour alimenter une clôture électrique de 5 km au Nouveau-Brunswick. Poulin et Fortin (2005) ont estimé le coût moyen d'un accident impliquant la grande faune à 21 711 \$ dans la réserve faunique des Laurentides entre 2000 et 2004. Cette dernière évaluation est basée sur l'approche du capital humain utilisée par le MTQ et tient compte des coûts associés aux soins de santé. Elle se rapproche de l'estimation effectuée par Lavsund et Sandegren (1991) en Suède en 1988 (10 000 \$US, soit environ 19 000 \$CAN en 2005). Si on ne considère que les dommages matériels, le coût moyen par accident est de 11 837 \$. La valeur économique d'un orignal au Québec peut être estimée à 9 120 \$ en 2005 (M. Lacasse, MRNF, comm. pers.). Ainsi, nous avons estimé à l'aide de

l'équation (1) que les clôtures électriques, si elles demeuraient parfaitement efficaces (aucun accident), seraient rentabilisées en moins de 7 ans pour la 175C et en 3 ans pour la 169C.

$$(1) \quad \frac{CLOT}{N_{ACC}(ACC + ORI)} = AN_I + \frac{AN_I(ENT_{AN} + FRAIS_{AN})}{N_{ACC}(ACC + ORI)} = AN_{TOTAL}$$

où CLOT = coût de la clôture électrique (incluant le coût du passage à faune)

$N_{ACC}$  = nombre d'accident moyen par année avant la clôture électrique

ACC = coût moyen d'un accident impliquant l'orignal

ORI = valeur économique de l'orignal

$AN_I$  = nombre d'années pour rentabiliser la clôture avant les coûts d'entretien

$ENT_{AN}$  = coût annuel de l'entretien de la clôture électrique

$FRAIS_{AN}$  = frais annuels pour le fonctionnement de la clôture électrique

Évidemment, cette estimation est optimiste puisqu'il faut prévoir que les accidents ne cesseront pas totalement dans les secteurs clôturés. Par contre, la rentabilité n'est pas le seul facteur à considérer dans l'évaluation d'une mesure de mitigation. Les pertes de vies humaines, les blessures et le stress associé à ce type d'accident sont des valeurs intangibles, auxquelles il est difficile d'associer une valeur monétaire (Conover 1997). Elles sont cependant très importantes, particulièrement dans le cas des accidents impliquant l'orignal, et devraient être considérées dans l'analyse des performances des mesures de mitigation. Depuis 2000, 3 personnes sont décédées dans la réserve faunique des Laurentides suite à un accident impliquant l'orignal (Poulin et Fortin 2005).

## 5.0 Implications pour l'aménagement

La clôture électrique de type *Electrobraid*<sup>TM</sup> est faite de câbles et de poteaux flexibles, ce qui permet à une bête stressée de la franchir sans danger. Mais cette flexibilité lui confère aussi une bonne résistance aux intempéries, aux chablis et aux accumulations importantes de neige. Pour maximiser la résistance de la clôture électrique, elle doit être installée sur un terrain préparé en conséquence et sur le talus extérieur du fossé en bordure de la route de façon à éviter les problèmes causés par le déneigement en hiver. Le poids important de la neige fait parfois en sorte que les câbles sortent de leurs attaches ou s'entremêlent, ou encore que les

attaches se brisent en hiver. Ces problèmes sont facilement réglés au printemps par une vérification visuelle de l'ensemble de la clôture électrique.

Bien qu'elle n'ait pas à être parfaitement étanche au passage des animaux, la clôture électrique nécessite tout de même un entretien régulier. Les quelques interruptions du voltage observées dans cette étude ont permis à certains orignaux de franchir la clôture. Un entretien régulier est requis, sans quoi la clôture électrique pourrait avoir une efficacité réduite. Tel qu'actuellement réalisé dans la réserve faunique des Laurentides, un entretien devrait être planifié à la fin du printemps, au moment où les orignaux rencontrent la clôture électrique pour la première fois de la saison, ou même de leur vie. L'entretien pourrait être facilité par l'installation de dispositifs lumineux visibles de la route, indiquant le fonctionnement du courant. Ces voyants lumineux pourraient être installés à intervalles réguliers le long des clôtures électriques ainsi qu'à certains endroits problématiques. L'entretien devrait inclure la mise en place de toile géotextile partout sous la clôture, ou le dégagement mécanique des plantes herbacées. Même si l'effet de la végétation sur le voltage n'a pas pu être démontré de façon claire, il est probable que, combinée à l'humidité, elle puisse être un facteur important. À certains endroits problématiques de la 175C, des herbes hautes touchant aux câbles et agissant comme mises à la terre faisaient « claquer » les câbles de la clôture électrique, signe que le courant ne se transmettait pas de façon normale.

Un disjoncteur fonctionnel, tel que celui testé à la 169C, devrait permettre de palier aux interruptions de voltage. Ce nouvel appareil gère chaque câble indépendamment et permet de couper le courant lors de baisses importantes dans le voltage. Ces chutes de voltage peuvent être causées par un animal, un arbre, une branche ou tout autre objet coincé dans les câbles. Lors de problèmes majeurs, cet appareil contacte automatiquement le service d'urgence par téléphone à chaque heure pour avertir qu'une interruption du courant a lieu. Une équipe peut par la suite être dépêchée sur les lieux pour constater le problème. Le disjoncteur est aussi utilisé manuellement à l'automne à la 169C, où il permet de couper le courant sur les câbles du bas et de le remettre au printemps suivant lorsque la neige n'engendre plus de mise à la terre.

Peu d'orignaux ont traversé la clôture électrique lorsque celle-ci était électrisée (19 cas en trois ans). Les orignaux ont plutôt contourné la clôture électrique par différentes ouvertures laissées dans la clôture ou par les extrémités. Des extensions de clôture électrique longeant les

chemins forestiers sur un peu plus de 100 m ont été installées afin de repousser les orignaux en direction de la forêt. Toutefois, des pistes ont été recensées dans les chemins forestiers à quelques reprises, indiquant que certains orignaux ont tout de même atteint le corridor clôturé malgré la présence de ces structures. Des grilles d'exclusion « *Texas gates* » ont été testées par Peterson *et al.* (2003) en Floride et ont été trouvées efficaces pour entraver le passage du « *Florida Key Deer* » (*O. virginianus clavium*). La structure métallique de ces grilles fait en sorte que les ongulés évitent d'y marcher, mais permettent tout de même le passage des voitures. Ce type de structure est très dispendieux et n'a pas été retenu dans cette étude. En effet, ces grilles auraient pu être installées dans les chemins forestiers bordés de part et d'autre par la clôture électrique, mais auraient probablement été inefficaces aux extrémités de la clôture, ce qui n'aurait pas permis de régler le problème intégralement. Des barrières plus simples ont été utilisées sur les sentiers moins fréquentés. Ces barrières ont, en théorie, la même efficacité que la clôture électrique (bien qu'elles ne soient pas électrifiées), mais elles doivent être refermées par les utilisateurs, sans quoi les orignaux peuvent y traverser. À cet effet, des affiches informatives ont été placées près des barrières afin de sensibiliser les utilisateurs à la problématique des accidents routiers. Certains orignaux ont accédé à la chaussée en passant sous la clôture aux endroits où elle est surélevée pour le passage de petits cours d'eau et de ponceaux. Certains de ces passages ont été bloqués efficacement par l'utilisation de câbles non-électrifiés disposés en forme de « toiles » épousant le relief. Cette méthode devrait être utilisée partout où la clôture électrique traverse un fossé de drainage. Enfin, d'autres orignaux ont accédé au corridor clôturé en passant par les extrémités de la clôture électrique. Ce problème a aussi été relevé par Patterson (1977) et Cowan et Rhodes (1992), ainsi que par Clevenger *et al.* (2001) dans une étude portant sur la clôture métallique. Ces derniers ont démontré qu'un plus grand nombre d'accidents survenait près des extrémités des clôtures, et que ce problème pouvait être associé à la présence des clôtures puisque ces secteurs n'étaient pas caractérisés par des habitats préférentiels. Cependant, nous n'avons pas observé ce phénomène au cours de notre étude. Par exemple, le premier tronçon de 500 m dans le secteur témoin au nord de la 169C était largement fréquenté par l'orignal, même avant l'installation de la clôture électrique (24 pistes en 2003 et 36 pistes en 2004). Cette fréquentation est demeurée stable suite à l'érection de la clôture électrique (26 pistes en 2005) et aucun accident n'y a eu lieu. Toutefois, il est difficile d'empêcher les orignaux d'accéder au corridor clôturé par les extrémités. Tel qu'effectué dans la présente étude, ce problème pourrait être limité en localisant les extrémités des clôtures électriques dans des sites peu propices au passage des orignaux ou en y installant des passages à faune. Redmond (2005)

suggère de relier les extrémités des câbles de la clôture électrique à des garde-fous. Toutefois, l'efficacité de cette méthode reste à démontrer.

En résumé, d'après les résultats obtenus dans cette étude, afin d'optimiser le rendement d'une clôture électrique, celle-ci doit être installée en continu le long du secteur que l'on désire protéger (installation) et elle doit être munie d'un système de détection des pannes permettant de la réparer rapidement (entretien). Ainsi, nous suggérons idéalement de laisser un minimum d'ouverture lors de l'installation de la clôture électrique. Il serait souhaitable, par exemple, de prévoir des structures anti-ongulés aux intersections avec des chemins forestiers, de bloquer les fossés de drainage en installant des câbles épousant le relief et de contrôler l'accès aux sentiers à l'aide de barrières. Les segments de route longeant les lacs devraient aussi être clôturés puisque nous avons observé plusieurs pistes d'orignal qui provenaient de ceux-ci. Enfin, un disjoncteur semblable à celui utilisé à la 169C devrait aussi être utilisé. Sinon, des visites régulières seraient nécessaires pour s'assurer du fonctionnement de la clôture électrique.

## **6.0 Conclusion**

Les clôtures électriques évaluées dans cette étude se sont avérées efficaces à réduire le risque d'accident routier impliquant l'orignal, dans une région où les conditions météorologiques sont particulièrement difficiles. Aucun accident n'est survenu dans les secteurs clôturés depuis l'installation des clôtures électriques, bien que ces secteurs étaient considérés à haut risque. Toutefois, nos résultats indiquent qu'afin d'obtenir un rendement optimal de la clôture électrique, il faut s'assurer de corriger les interruptions de courant rapidement et éviter de laisser des ouvertures le long de celle-ci. Dans le cas où de telles ouvertures sont inévitables, d'autres structures pourraient être utilisées pour empêcher les orignaux d'accéder au corridor clôturé (e.g., grilles d'exclusion « *Texas gates* » aux intersections avec les chemins forestiers, barrières électriques, etc.). De plus, l'utilisation d'un disjoncteur fonctionnel devrait être priorisée afin de simplifier l'entretien et de permettre de libérer rapidement les orignaux qui demeurent pris dans la clôture électrique. En procédant de la sorte, nous croyons que la clôture électrique pourrait avoir un rendement comparable à celui de la clôture métallique conventionnelle, tout en étant moins dispendieuse et plus discrète. Elle devrait, à tout le moins, être considérée comme une mesure de mitigation efficace des accidents routiers

impliquant l'orignal. À notre avis, il serait souhaitable de poursuivre le suivi des clôtures électriques au cours des prochaines années afin de mieux juger de leur durabilité mais aussi de mieux évaluer leur efficacité. En effet, cette étude était relativement courte considérant la variabilité interannuelle importante du nombre d'accidents routiers. Enfin, nous soulignons qu'il serait préférable d'évaluer l'efficacité de la clôture électrique avant de l'utiliser avec d'autres espèces, comme le cerf de Virginie, qui pourraient avoir un comportement différent de celui de l'orignal.

## **7.0 Remerciements**

Nous tenons à remercier M.-C. Bélair, M.-F. Gévry et M. Lavoie pour leur assistance sur le terrain. Nous remercions également A. Caron pour son aide avec les analyses statistiques, ainsi que L. Breton et C. Laurian pour leur participation à la capture des orignaux. Cette étude a été réalisée conjointement avec le Ministère des Transports du Québec, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et l'Université du Québec à Rimouski. M. Leblond tient à remercier le Fonds Québécois de Recherche sur la Nature et les Technologies pour leur financement.

## 8.0 Références

- Bashore, T. A., W. M. Tzilkowski et E. D. Bellis. 1985. Analysis of deer-vehicle collision sites in Pennsylvania. *Journal of Wildlife Management* 49 : 769-774.
- Beauchamp, D. E. 1970. Deer mirror evaluation. California Department of Fish and Game, 8 p.
- Belant, J. L. 1995. Moose collisions with vehicles and trains in northeastern Minnesota. *Alces* 31 : 45-52.
- Belant, J. L., T. W. Seamans et C. P. Dwyer. 1998. Cattle guards reduce white-tailed deer crossing through fence openings. *International Journal of Pest Management* 44 : 247-249.
- Bellis, E. D. et H. B. Graves. 1971. Deer mortality on a Pennsylvania interstate highway. *Journal of Wildlife Management* 35 : 232-237.
- Bertwistle, J. 1999. The effects of reduced speed zones on reducing bighorn sheep and elk collisions with vehicles on the Yellowhead highway in Jasper National Park. *Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation, FL-ER-73-99*, Florida Department of Transportation, Tallahassee, 1999.
- British Columbia Ministry of Transportation. 2002. Summer Travel Tips – Wildlife. Gouvernement de la Colombie-Britannique, [en ligne], <http://www.th.gov.bc.ca/bchighways/summer/summer.htm>.
- 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* 114 : 189-197.
- 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.
- 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., B. Chruszcz, K. Gunson, et J. Wierzchowski. 2002. Roads and wildlife in the Canadian Rocky Mountain Parks – Movements, mortality and mitigation. Final report to Parks Canada. Banff, Alberta, Canada.

- 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. Kesler, T. J. DuBow et D. A. Sanborn. 1995. Review of human injuries, illnesses, and economic losses caused by wildlife in the United States. *Wildlife Society Bulletin* 23 : 407-414.
- Cowan, P. E. et D. S. Rhodes. 1992. Restricting the movements of brushtail possums (*Trichosurus vulpecula*) on farmland with electric fencing. *Wildlife Research* 19 : 47-58.
- de Bellefeuille, S., et M. Poulin. 2003. Mesures de mitigation visant à réduire le nombre de collisions routières avec les cervidés – Revue de littérature et recommandations pour le Québec. Ministère des Transports du Québec, Service du soutien technique, Direction générale de Québec et de l'Est, 103 p.
- Dickerson, L. M. 1939. The problem of wildlife destruction by automobile traffic. *Journal of Wildlife Management* 3 : 104-116.
- Dussault, C., M. Poulin, R. Courtois et J.-P. Ouellet. 2004. Répartition temporelle et spatiale des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides de 1990 à 2002, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, Québec, Québec, 47 p.
- Dussault, C., R. Courtois, J. Huot et J.-P. Ouellet. 2001. The use of forest maps for the description of wildlife habitats : limits and recommandations. *Canadian Journal of Forest Research* 31 : 1227-1234.
- Eberhardt, L. L. et J. M. Thomas. 1991. Designing environmental field studies. *Ecological Monographs* 61 : 53-73.
- Evink, G.L. 2002. Interaction between roadways and wildlife ecology - A synthesis of highway practice. NCHRP Synthesis 305. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C. 78 p.
- Falk, N. W., H. B. Graves et E. D. Bellis. 1978. Highway right-of-way fences as deer deterrents. *Journal of Wildlife Management* 42 : 646-650.
- Farrell, T. M., J. E. Sutton, D. E. Clark, W. R. Horner, K. I. Morris, K. S. Finison, G. E. Menchen et K. H. Cohn. 1996. Moose-motor vehicle collisions, an increasing hazard in northern New England. *Archives of Surgery* 131 : 377-381.
- Feldhamer, 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.

- 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.
- Floyd, J. 1960. Crop damage by deer and bear. *Florida Wildlife*, November 18-21.
- Foster, M. L. et S. R. Humphrey. 1995. Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin* 23 : 95-100.
- Fraser, D. 1979. Sighting of moose, deer, and bears on roads in northern Ontario. *Wildlife Society Bulletin* 7 : 181-184.
- Fraser, D., D. Arthur, J. K. Morton et B. K. Thompson. 1980. Aquatic feeding by moose *Alces alces* in a canadian lake. *Holarctic Ecology* 3 : 218-223.
- Fraser, D. et H. Hristienko. 1982. Moose-vehicle accidents in Ontario: a repugnant solution ? *Wildlife Society Bulletin* 10 : 266-270.
- Geisser, H. et H.-U. Reyer. 2004. Efficacy of hunting, feeding, and fencing to reduce crop damage by wild boars. *Journal of Wildlife Management* 68 : 939-946.
- Gilbert, J. R. 1982. Evaluation of deer mirrors for reducing deer-vehicle collisions. United States Department of Transportation, Federal Highway Administration Report FHWA-RD-82-061, 16 p.
- Gordon, K. M., M. C. McKinstry et S. H. Anderson. 2004. Motorist response to a deer-sensing warning system. *Wildlife Society Bulletin* 32 : 565-573.
- Green, R. H. 1979. Sampling design and statistical methods for environmental biologists. Wiley, New-York, New-York, USA.
- Grenier, P. A. 1974. Orignaux tués sur la route dans le parc des Laurentides, Québec, de 1962 à 1972. *Le Naturaliste Canadien* 101 : 737-754.
- Groot Bruinderink, G. W. T. A. et E. Hazebroek. 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology* 10 : 1059-1067.
- Haugen, A. O. 1944. Highway mortality in southern Michigan. *Journal of Mammalogy* 25 : 177-184.
- Hubbard, M. W., B. J. Danielson et R. A. Schmitz. 2000. Factors influencing the location of deer-vehicle accidents in Iowa. *Journal of Wildlife Management* 64 : 707-713.
- Joyce, T. L. et S. P. Mahoney. 2001. Spatial and temporal distributions of moose-vehicle collisions in Newfoundland. *Wildlife Society Bulletin* 29 : 281-291.
- Lavsund, S. et F. Sandegren. 1991. Moose-vehicle relations in Sweden : a review. *Alces* 27 : 118-126.
- Lehnert, M. E. et J. A. Bissonette. 1997. Effectiveness of highway crosswalk structures at reducing deer-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin* 25 : 809-818.

- Little, S. J., R. G. Harcourt et A. P. Clevenger. 2002. Do wildlife passages act as prey-traps ? *Biological Conservation* 107 : 135-145.
- Ludwig, J. et T. Bremicker. 1983. Evaluation of 2.4-m fences and one-way gates for reducing deer-vehicle collisions in Minnesota. *Transportation Research Record* 913 : 19-22.
- MacDonald, M.G. 1991. Moose movement and mortality associated with the Glenn Highway expansion, Anchorage Alaska. *Alces* 27: 208-19.
- Malo, J. E., F. Suárez et A. Díez. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models ? *Journal of Applied Ecology* 41 : 701-710.
- McCaffery, K. R. 1973. Road-kills show trends in Wisconsin deer populations. *Journal of Wildlife Management* 37 : 212-216.
- McClure, H. E. 1951. An analysis of animal victims on Nebraska's highways. *Journal of Wildlife Management* 15 : 410-420.
- McKillop, I. G. et C. J. Wilson. 1987. Effectiveness of fences to exclude European wild rabbits from crops. *Wildlife Society Bulletin* 15 : 394-401.
- McKillop, I. G. et R. M. Sibly. 1988. Animal behaviour at electric fences and the implications for management. *Mammal Review* 18 : 91-103.
- McKillop, I. G., P. Butt, J. Lill, H. W. Pepper et C. J. Wilson. 1998. Long-term cost effectiveness of fences to manage European wild rabbits. *Crop Protection* 17 : 393-400.
- Minsky, D. 1980. Preventing fox predation at a least tern colony with an electric fence. *Journal of Field Ornithology* 51 : 180-181.
- Munro, D., L. Gignac, G. Lamontagne et D. Jean. 2001. Gros gibier au Québec en 1999 (exploitation par la chasse et mortalité par des causes diverses). *Société de la faune et des parcs, Direction du développement de la faune*, 64 p.
- Muzzi, P. D. et A. R. Bisset. 1990. The effectiveness of ultrasonic wildlife warning devices to reduce moose fatalities along railway corridors. *Alces* 26 : 37-43.
- Mysterud, A. 2004. Temporal variation in the number of car-killed red deer *Cervus elaphus* in Norway. *Wildlife Biology* 10 : 203-211.
- 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.
- Nielsen, C. K., R. G. Anderson et M. D. Grund. 2003. Landscape influences on deer-vehicle accident areas in an urban environment. *Journal of Wildlife Management* 67 : 46-51.
- Oosenbrug, S. M., E. W. Mercer et S. H. Ferguson. 1991. Moose-vehicle collisions in Newfoundland – management considerations for the 1990's. *Alces* 27 : 220-225.

- Osenberg, C. W., R. J. Schmitt, S. J. Holbrook, K. E. Abu-Saba et A. R. Flegal. 1994. Detection of environmental impacts: natural variability, effect size, and power analysis. *Ecological Applications* 4 : 16-30.
- Patterson, I. J. 1977. The control of fox movement by electric fencing. *Biological Conservation* 2 : 267-278.
- Peterson, M. N., R. R. Lopez, N. J. Silvy, C. B. Owen, P. A. Frank et A. W. Braden. 2003. Evaluation of deer-exclusion grates in urban areas. *Wildlife Society Bulletin* 31 : 1198-1204.
- Pojar, T. M., R. A. Prosenice, D. F. Reed et T. N. Woodard. 1975. Effectiveness of a lighted, animated deer crossing sign. *Journal of Wildlife Management* 39 : 87-91.
- Poole, D. W., G. Western et I. G. McKillop. 2004. The effects of fence voltage and the type of conducting wire on the efficacy of an electric fence to exclude badgers (*Meles meles*). *Crop Protection* 23 : 27-33.
- Poole, D. W. et I. G. McKillop. 2002. Effectiveness of two types of electric fence for excluding the red fox (*Vulpes vulpes*). *Mammal Review* 32 : 51-57.
- Poole, D. W., I. G. McKillop, G. Western, P. J. Hancocks et J. J. Packer. 2002. Effectiveness of an electric fence to reduce badger (*Meles meles*) damage to field crops. *Crop Protection* 21 : 409-417.
- Poulin, M. 1999. Les accidents de la circulation impliquant la grande faune sur le territoire de la Direction de Québec et à l'intérieur des limites de la réserve faunique des Laurentides, Bilan statistique 1990 à 1997, Ministère des Transports du Québec, Direction de Québec, Service des inventaires et du plan, 27 p. + annexes.
- Poulin, M. et J. Fortin. 2005. Les accidents de la circulation occasionnés par la grande faune dans la réserve faunique des Laurentides, 2000 à 2004. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'est, Service du soutien technique, 28 p.
- Puglisi, M. J., J. S. Lindzey et E. D. Bellis. 1974. Factors associated with highway mortality of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 38 : 799-807.
- Queal, L. M. 1967. Effectiveness of roadside mirrors in controlling deer-car accidents. Michigan Department of Conservation, Research Division Report 103, 7 p.
- Rea, R. V. 2003. Modifying roadside vegetation management practices to reduce vehicular collisions with moose *Alces alces*. *Wildlife Biology* 9 : 81-91.
- Redmond, G. 2005. Experimental electric moose fence study : measures to reduce moose-vehicle collisions in Northeast New Brunswick. Maritime College of Forest Technology, Hugh John Flemming Forestry Center, New Brunswick, 61 pp.

- Reed, D. F. 1981. Effectiveness of highway lighting in reducing deer-vehicle accidents. *Journal of Wildlife Management* 45 : 721-726.
- Reed, D. F., T. M. Pojar et T. N. Woodard. 1974. Use of one-way gates by mule deer. *Journal of Wildlife Management* 38 : 9-15.
- Reed, D. F., T. N. Woodard et T. D. I. Beck. 1979. Regional deer-vehicle accident research. United States Department of Transportation, Federal Highway Administration Report No. FHWA-RD-79-11, National Technical Information Service, Springfield, VA, 61 p.
- Reed, D. F., T. N. Woodard et T. M. Pojar. 1975. Behavior response of mule deer to a highway underpass. *Journal of Wildlife Management* 39 : 361-367.
- Reeve, A. F. et S. H. Anderson. 1993. Ineffectiveness of Swareflex reflectors at reducing deer-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin* 21 : 127-132.
- Romin, L. A. et J. A. Bissonette. 1996. Deer-vehicle collisions : status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildlife Society Bulletin* 24 : 276- 283.
- Romin, L. A. et L. B. Dalton. 1992. Lack of response by mule deer to wildlife warning whistles. *Wildlife Society Bulletin* 20 : 382-384.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS®. Version 8.00. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Schafer, J. A. et S. T. Penland. 1985. Effectiveness of Swareflex reflectors in reducing deer-vehicle accidents. *Journal of Wildlife Management* 49 : 774-776.
- Seiler, A. 2004. Trends and spatial pattern in ungulate-vehicle collisions in Sweden. *Wildlife Biology* 10 : 301-313.
- Seiler, A. 2005. Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42 : 371-382.
- SPSS Inc. 2000. Systat®. Version 10.0. SPSS inc., Chicago, Illinois.
- Stewart-Oaten, A., W. W. Murdoch et K. R. Parker. 1986. Environmental impact assessment: “pseudoreplication” in time ? *Ecology* 67 : 929-940.
- St-Onge, S., R. Courtois, et D. Banville (éd.). 1995. Inventaires aériens de l’original dans les réserves fauniques du Québec. Ministère de l’Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune terrestre, No. Cat. : 95-3111-12, 109 p.
- Thompson, B. C. 1978. Fence-crossing behaviour exhibited by coyotes. *Wildlife Society Bulletin* 6 : 14-17
- Thompson, B. C. 1979. Evaluation of wire fences for coyote control. *Journal of Range Management* 32 : 457-461.

- Underwood, A. J. 1991. Beyond BACI: experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 42 : 569-587.
- Underwood, A. J. 1994. On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications* 4 : 3-15.
- Ujvári, M., H. J. Baagøe et A. B. Madsen. 1998. Effectiveness of wildlife warning reflectors in reducing deer-vehicle collisions: a behavioral study. *Journal of Wildlife Management* 62 : 1094-1099.
- Ujvári, M., H. J. Baagøe et A. B. Madsen. 2004. Effectiveness of acoustic road markings in reducing deer-vehicle collisions: a behavioural study. *Wildlife Biology* 10 : 155-159.
- Van Wieren, S. E et P. B. Worm. 2001. The use of a motorway wildlife overpass by large mammals. *Netherlands Journal of Zoology* 51 : 97-105.
- Ward, A. L. 1982. Mule deer behavior in relation to fencing and underpasses on Interstate 80 in Wyoming. *Transportation Research Record* 859 : 8-13.
- Waring, G. H., J. L. Griffis et M. E. Vaughn. 1991. White-tailed deer roadside behavior, wildlife warning reflectors, and highway mortality. *Applied Animal Behavior Science* 29 : 215-223.
- Wicks, G. 2002. Moose exclusion with *Electrobraid* fence, 2000-2001. Newfoundland Department of Agriculture, Crop insurance agency, [en ligne], <http://www.electrobraid.com/wildlife/reports/wicksreport2.html>

## **ANNEXES**

Annexe 1. Mise en contexte des décisions prises par le Ministère des Transports lors de la mise en place des clôtures électriques et des passages à faune dans la réserve faunique des Laurentides.

### **Clôture de la route 175 (175C) :**

C'est à la suite des informations obtenues du comité responsable de l'installation d'une clôture électrique au Nouveau-Brunswick sur l'autoroute 11 dans le secteur de Belledune (voir Redmond 2005) que le premier projet d'installation de clôture électrique a vu le jour au Québec. Ce nouveau type de clôture semblait alors très intéressant et les excellents résultats obtenus après un an dans le secteur de Belledune ont convaincu le Ministère des Transports du Québec (MTQ) de réaliser un projet pilote sur cette nouvelle mesure de mitigation. Comme des travaux de correction de courbe avaient lieu en 2002 dans le secteur du lac Tourangeau, sur la route 175, entre les kilomètres 175 et 180, et que ces travaux n'arriveraient pas à éliminer la problématique d'accident causée par deux mares salines fréquentées par l'orignal, ce secteur fut retenu comme premier site d'utilisation de la clôture électrique. Le même type de clôture électrique que celui utilisé au Nouveau-Brunswick (Electrobraid<sup>TM</sup>) fut choisi. Cependant, en raison des particularités du terrain, la clôture électrique fut installée différemment. D'abord, les extrémités de la clôture furent placées à l'intersection de chemins forestiers. Deux autres chemins forestiers étaient également présents à l'intérieur du secteur clôturé. Puisqu'aucune structure anti-ongulé (grille d'exclusion « *Texas gates* ») n'a été installée dans ces chemins en raison de leur coût très élevé, il était reconnu dès le départ que les orignaux finiraient par les emprunter. Par ailleurs, près du lac Tourangeau, une section de la route du côté est n'a pas été clôturée, dans le but de vérifier si la présence d'un lac pouvait à elle seule servir de barrière naturelle au passage des orignaux vers la chaussée. La clôture électrique devait aussi passer par dessus une petite rivière et dans des tourbières, où la capacité portante du sol est très faible, ce qui aurait été difficile à réaliser avec une clôture de métal. La clôture électrique a été installée dans des conditions difficiles nous permettant de connaître sa résistance sous diverses contraintes. Le passage à faune sous le pont a aussi été adapté aux travaux en cours sur la route 175.

### **Clôture de la route 169 (169C) :**

Après les deux années d'essais sur la route 175, le MTQ désirait poursuivre son évaluation de la clôture électrique dans la même région mais sur une plus longue distance. Cette fois, le projet portait sur 10 km de route, soit entre les kilomètres 32 et 42, un des secteurs les plus à risque de la réserve faunique des Laurentides. Cette clôture a été composée de deux sections clôturées (du km 32 au km 38 et du km 38 au km 42) mises bout à bout. Cette façon de procéder permettait de s'assurer que seulement la moitié de la clôture serait hors fonction advenant un problème dans une des deux sections. La première section a été munie d'un passage à faune qui traverse la chaussée au km 33. Ce type de traverse, qui peut être utilisé sur des routes à faible débit de circulation, permettait de mettre au point un système de détection innovateur qui actionnait des voyants lumineux sur des panneaux de signalisation en bordure de la route afin de prévenir les automobilistes du danger. La traverse a été localisée dans une traverse naturelle des orignaux fréquentant ce secteur. L'accès à l'emprise des lignes de transport d'Hydro-Québec et aux sentiers forestiers a été maintenu grâce à l'utilisation de barrières en tubes de fibre de verre. Ces barrières comportent des câbles qui peuvent être électrifiés au besoin. Elles ont été laissées déconnectées, de façon à vérifier si les orignaux chercheraient à traverser la clôture par ces ouvertures. Ceci permettait de tester l'effet d'un leurre visuel chez l'orignal, tout en assurant la sécurité des usagers qui empruntaient les barrières.

A la suite de l'expérience acquise au cours du projet de la route 175, où la clôture avait été installée en s'adaptant au terrain disponible, un corridor d'une largeur de 5 m a été dégagé avant l'érection de la 169C. Cette largeur permettait de laisser environ 2 m de chaque côté de la clôture, ce qui permet de circuler avec un véhicule tout-terrain lors de l'entretien de la clôture, mais aussi, qui permet aux orignaux de circuler facilement à l'arrière de celle-ci. En effet, il avait été proposé que lorsque la clôture est trop près de la forêt, il puisse arriver que les orignaux n'aient pas le temps de l'évaluer à leur sortie de la forêt.

Malgré tout, la clôture électrique a été installée dans des conditions difficiles. Par exemple, d'importantes variations de la tension sont causées par les lignes à haute tension qui passent au-dessus de la clôture. Des bris aux électrificateurs ont possiblement été occasionnés par des retours de foudre par les fils électriques, un problème qui ne peut pas être empêché par un équipement de protection. Lors de l'installation, les irrégularités du terrain ont fait en sorte

qu'à plusieurs endroits, un espace suffisant pour qu'un orignal puisse traverser a été laissé sous la clôture. Certains orignaux ont pu profiter de ces failles pour atteindre la chaussée. On retrouve aussi, entre les km 37 et 39, deux lacs d'où peuvent provenir des orignaux. Ces sections de route n'ont pas été clôturées dû au fait que les lacs viennent border la route de très près. Il aurait été très difficile d'installer une clôture si près de la route. Par ailleurs, les opérations de déneigement auraient constamment brisé les câbles d'une clôture si près de la route, ce qui aurait nécessité des réparations majeures à tous les printemps.

Annexe 2. Nombre total de pistes d'originaux recensées dans les secteurs clôturés et témoins des routes 175 et 169, par année, indépendamment du statut (voltage) des clôtures électriques. Les pistes recensées à la 175C sont distinguées d'après leur position par rapport à la clôture électrique. Les tirets (-) indiquent les secteurs où les pistes étaient lues d'un seul côté de la clôture électrique, ou les secteurs non clôturés.

Secteur	Année	Nombre de pistes d'originaux			
		Côté route	Côté forêt	Traverse <sup>a</sup>	Longe <sup>b</sup>
175C	2003 <sup>c</sup>	8	93	1	84
	2004 <sup>c</sup>	26	45	10	30
	2005 <sup>c</sup>	11	46	4	35
175T	2003	36	-	13	4
	2004	20	-	10	3
	2005	53	-	24	15
169C	2003	142	-	82	22
	2004	187	-	121	16
	2005 <sup>c</sup>	31	-	10	15
169T	2003	133	-	73	21
	2004	206	-	136	11
	2005	168	-	102	21

<sup>a</sup> Nombre de pistes d'originaux qui traversent la clôture électrique dans les secteurs clôturés (indiqués par un <sup>c</sup>) ou qui traversent la route dans les secteurs non clôturés.

<sup>b</sup> Nombre de pistes d'originaux qui longent la clôture électrique dans les secteurs clôturés (indiqués par un <sup>c</sup>) ou qui longent la route dans les secteurs non clôturés.

<sup>c</sup> Années durant lesquelles le secteur était clôturé.