



MESURES DE MITIGATION VISANT À RÉDUIRE LE NOMBRE DE COLLISIONS ROUTIÈRES AVEC LES CERVIDÉS

Revue de littérature et recommandations pour le Québec



Sonia de Bellefeuille
Marius Poulin
Service du soutien technique
Direction générale de Québec et de l'Est
Transports Québec

Octobre 2003

Remerciements

Nous tenons à remercier tous les précieux collaborateurs qui nous ont permis de réaliser ce document. De façon particulière, nous tenons à souligner le soutien que nous ont apporté M. Réhaume Courtois, de la Société de la faune et des parcs du Québec, ainsi que MM. Christian Dussault et Jean-Pierre Ouellet de l'Université du Québec à Rimouski pour la révision du document.



Remarques

Ce document est destiné à un usage interne seulement.

La reproduction en est permise à la condition de mentionner la source.

Résumé

Les collisions routières impliquant la grande faune sont en augmentation dans plusieurs régions du monde, notamment en Amérique du Nord et en Europe. Les principales raisons à l'origine de ce phénomène seraient la demande grandissante pour des moyens de transports rapides et efficaces qui fragmentent de plus en plus le territoire, la croissance des populations de cervidés et, enfin, l'augmentation du nombre de véhicules et du kilométrage parcouru.

Les accidents avec la grande faune ont de lourdes conséquences, tant sur le plan de l'économie que de la conservation de la faune. C'est la raison pour laquelle d'importants efforts sont déployés actuellement pour trouver des mesures de mitigation qui soient à la fois efficaces, abordables et acceptables socialement.

La première partie de ce document consiste en une revue des mesures employées en Amérique du Nord et en Europe pour réduire le nombre d'accidents avec la grande faune et en un résumé des avantages et des inconvénients de chacune. Dans la seconde partie, des recommandations sont faites pour orienter le choix de mesures de mitigation au Québec et une grille d'analyse est présentée afin de faciliter la prise de décision.



Table des matières

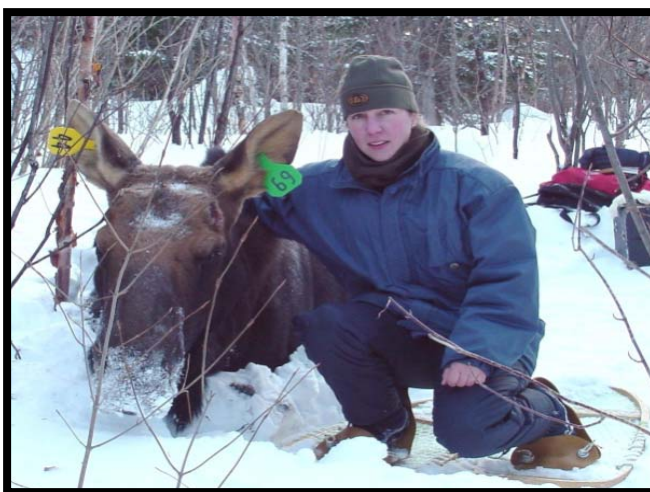
REMERCIEMENTS	II
REMARQUES	II
RÉSUMÉ.....	III
TABLE DES MATIÈRES.....	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
 LA REVUE DE LITTÉRATURE.....	1
INTRODUCTION.....	2
1. PORTRAIT DES ACCIDENTS ROUTIERS IMPLIQUANT LA GRANDE FAUNE.....	4
1.1. Statistiques	4
1.2. Causes des accidents	7
1.2.1. Patron saisonnier.....	7
1.2.2. Patron journalier	8
1.2.3. Sexe et âge des cervidés impliqués.....	9
1.2.4. Densité des populations	9
1.2.5. Habitats	9
1.2.6. Caractéristiques de la route.....	10
2. MESURES DE MITIGATION VISANT À RÉDUIRE LE NOMBRE D’ACCIDENTS ROUTIERS IMPLIQUANT DES CERVIDÉS.....	11
2.1. Objectif : Prévenir la présence d’animaux sur la route par la pose d’obstacles ou la réduction des populations.....	11
2.1.1. Les clôtures.....	11
2.1.2. Les structures de franchissement anti-ongulés	13
2.1.3. Les passages	15
2.1.4. Les traverses	21
2.1.5. La chasse.....	22
2.1.6. La relocalisation des cervidés.....	23
2.1.7. La restauration des prédateurs	25
2.1.8. Le contrôle de la fertilité.....	25
2.1.9. L’abattage professionnel et l’euthanasie.....	26
2.2. Objectif : Modifier le comportement des animaux de manière à les dissuader de s’approcher de la route	28
2.2.10. Les clôtures électriques.....	28
2.2.11. Les répulsifs lumineux.....	31
2.2.12. Les répulsifs chimiques	35
2.2.13. Les répulsifs sonores	37
2.2.14. L’effarouchage.....	38
2.2.15. Le dégagement et le contrôle de la végétation sur le bord des routes.....	39
2.2.16. L’alimentation artificielle et l’amélioration de l’habitat à distance des routes.....	41
2.2.17. Les solutions de rechange au sel de déglacage	42
2.2.18. L’aménagement des mares salines.....	44

2.3.	Objectif : Modifier le comportement des usagers de la route	45
2.3.19.	Les panneaux de signalisation	45
2.3.20.	Les bandes rugueuses et autres marquages sonores.....	47
2.3.21.	La réduction de la limite de vitesse	47
2.3.22.	La sensibilisation et l'éducation des conducteurs.....	48
2.4.	Objectif : Rendre les voitures et les routes plus sécuritaires.....	50
2.4.23.	L'éclairage	50
2.4.24.	Les caractéristiques de la route.....	51
2.4.25.	L'élargissement de l'accotement et des corridors routiers	53
2.4.26.	Les systèmes de transport intelligents	54
CONCLUSION		68
RÉFÉRENCES CITÉES		69
LES RECOMMANDATIONS		82
3.	RECOMMANDATIONS.....	83
3.1.	Problématique	83
3.2.	Mesures utilisables au ministère des Transports	88
3.2.1.	Clôture métallique (mesure n° 1).....	88
3.2.2.	Clôture électrique (mesure n° 10).....	89
3.2.3.	Répulsifs chimiques (mesure n° 12)	92
3.2.4.	Contrôle de la végétation (mesure n° 15).....	92
3.2.5.	Aménagement des mares salines (mesure n° 18).....	93
3.2.6.	Signalisation statique (mesure n° 19).....	93
3.2.7.	Utilisation de bandes rugueuses (mesure n° 20).....	95
3.2.8.	Réduction de la limite de vitesse (mesure n° 21)	95
3.2.9.	Sensibilisation des conducteurs (mesure n° 22)	96
3.2.10.	Éclairage de la route (mesure n° 23)	96
3.2.12.	Installation d'une signalisation dynamique (mesure n° 26)	97
3.3.	Discussion et conclusion.....	99
À LA RECHERCHE DE SOLUTIONS.....		102

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : AVANTAGES, DÉSAVANTAGES ET EFFICACITÉ DES DIFFÉRENTES MESURES	62
TABLEAU 2 : LISTE DES MESURES UTILISABLES AU MINISTÈRE	84
TABLEAU 3 : MESURES DE MITIGATION UTILISABLES EN FONCTION DU TYPE DE ROUTE.....	87
TABLEAU 4 : RÉDUCTION DU NOMBRE D'ACCIDENTS IMPLIQUANT LA GRANDE FAUNE	101

La Revue de littérature



Par: *Sonia de Bellefeuille, biol. M.Sc.*

Service du soutien technique
Direction générale de Québec et de l'Est



Introduction

Le nombre de collisions routières impliquant la grande faune est en croissance dans plusieurs régions du globe, notamment en Amérique du Nord et en Europe. Ce problème de sécurité routière a des répercussions de plus en plus importantes sur les plans de l'économie et de la conservation de la faune. Son aggravation serait principalement attribuable à la demande grandissante pour des réseaux de transport plus rapides et plus efficaces, qui fragmentent considérablement le territoire (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Trombulak et Frissell, 2000 ; Farrell, 2002). Le problème serait aussi amplifié par la croissance des populations de cervidés, ainsi que par l'augmentation du nombre de véhicules et du kilométrage parcouru (Lavsund et Sandegren, 1991 ; Farrell, 2002).

L'accroissement des populations de cervidés est quant à lui attribué à différentes causes. Les principales sont la mise en place de règlements de chasse plus stricts, qui privilégient souvent l'abattage des mâles, la récolte forestière, qui crée des habitats favorables, et enfin, des hivers plus cléments (Skolving, 1985 ; Farrell *et al.*, 1996).

Même si les accidents avec la grande faune comptent pour un faible pourcentage du total des accidents qui surviennent sur les routes en une année, ils sont considérés malgré tout comme un grave problème de sécurité routière, parce qu'ils peuvent arriver à n'importe quel conducteur, sans égards à son expérience et aux précautions qu'il prend (Skolving, 1985). Au Canada, ce type d'accidents représente environ 1,6 % de l'ensemble des collisions (Damas et Smith, 1982). Cette proportion peut cependant être considérablement plus élevée sur certaines routes à grand débit qui traversent des régions boisées, comme c'est le cas dans certains parcs et réserves fauniques (Damas et Smith, 1982; M. Poulin, comm. pers.).

Le problème des collisions routières avec la faune est connu depuis plusieurs années et de nombreux intervenants, issus principalement des milieux gouvernementaux, tentent de trouver des solutions viables économiquement et socialement pour rendre les routes plus sécuritaires et réduire les coûts engendrés par ce type d'accidents. Il n'existe malheureusement pas de solution universelle pour régler ce problème complexe, qui varie localement en fonction de plusieurs facteurs. Diverses mesures de mitigation ont donc été développées et testées dans différentes conditions, avec des taux de succès variables. Celles-ci peuvent être regroupées selon l'objectif qu'elles visent, soit : 1) prévenir la présence d'animaux sur la route par la pose d'obstacles ou la réduction des populations ; 2) modifier le comportement des animaux

de manière à les dissuader de s'approcher de la route ; 3) modifier le comportement des usagers de la route ; 4) rendre les voitures et les routes plus sécuritaires.

Cette première partie du document consiste en une revue des mesures employées en Amérique du Nord et en Europe pour réduire le nombre d'accidents avec la grande faune. Un tableau-synthèse des principaux avantages et inconvénients de chacune est présenté à la fin.

1. Portrait des accidents routiers impliquant la grande faune

1.1. Statistiques

Les espèces impliquées dans les accidents routiers varient évidemment selon les régions. Dans le nord-est de l'Amérique du Nord, les collisions se produisent le plus souvent avec le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), l'orignal (*Alces alces*) et l'ours noir (*Ursus americanus*). Dans l'ouest du continent, s'ajoutent à ces espèces le cerf mulet (*Odocoileus hemionus*), le wapiti (*Cervus canadensis*), le mouflon (*Ovis dalli*), le grizzly (*Ursus arctos*) et le bison (*Bison bison*) (Damas et Smith, 1982). En Europe, outre l'orignal et le renne (*Rangifer tarandus*), que l'on trouve uniquement dans les pays nordiques, les espèces d'ongulés les plus souvent impliquées dans les collisions routières sont le cerf rouge (*Cervus elaphus*), le chevreuil (*Capreolus capreolus*), le daim (*Cervus dama*) et le sanglier (*Sus scrofa*) (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996).

Sur le continent européen, si l'on exclut la Russie, Groot Bruinderink et Hazebroek (1996) ont estimé au moyen d'un sondage qu'il se produisait environ 507 000 accidents avec des ongulés annuellement. D'après leurs données, ces collisions seraient responsables de près de 300 décès et de 30 000 blessés, causeraient plus d'un milliard de dollars (US) de dommages matériels.

Un sondage réalisé cette fois aux États-Unis par Romin et Bissonette (1996) a révélé qu'au moins 500 000 cervidés auraient été impliqués dans des collisions routières en 1991. Conover *et al.* (1995) ont toutefois révisé cette statistique à la hausse pour tenir compte des accidents non rapportés et ont ainsi estimé qu'il se produisait plus d'un million d'accidents avec les cervidés chaque année dans ce pays. Ces accidents, qui concernent majoritairement les cerfs, causeraient plus de 200 décès et engendreraient des dommages à la propriété évalués à plus d'un milliard de dollars (US).

Il n'existe pas de portrait global pour le Canada, mais on possède des données partielles pour certaines provinces. Ainsi, 4700 accidents routiers avec la faune ont été enregistrés en Colombie-Britannique en 2000. Ceux-ci ont coûté plus de 12 millions de dollars (US) en réclamations au système d'assurance automobile public de cette province, en plus d'occasionner des frais de nettoyage des routes de l'ordre de 400 000 \$. Environ 90 % de ces accidents impliqueraient des ongulés (Sielecki, 2001).

À Terre-Neuve, le cerf est absent mais la densité d'orignaux est élevée, variant de 0,41 à plus de 7 individus/km². Sur cette île, il se produit en moyenne chaque année 750 collisions avec des orignaux qui

causent deux pertes de vie humaine. Les dommages aux véhicules ont été évalués à près de 2,25 millions par année (Joyce et Mahoney, 2001).

En ce qui concerne le Nouveau-Brunswick, plus de 250 accidents impliquent des orignaux chaque année (Communications Nouveau-Brunswick, 2002 ; G. Godin, comm. pers.). Selon Hildebrand et Hodgson (1995), la fréquence relativement élevée des collisions avec des cervidés dans cette province est probablement attribuable au grand nombre de routes rurales qui traversent des aires boisées.

Au Québec, on dispose de statistiques récentes sur les accidents qui ont impliqué la grande faune entre 1996 et 2000 dans plusieurs régions de l'est du Québec, soit la Mauricie, le Centre-du-Québec, la Chaudière-Appalaches, le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie ainsi que la réserve faunique des Laurentides. Pour l'ensemble de ces régions, il s'est produit en moyenne annuellement, sur le réseau routier du ministère des Transports, 1920 accidents avec le cerf de Virginie et 244 avec l'orignal (Poulin, 2001a, 2001b, 2002 ; de Bellefeuille *et al.*, 2003). Ces données n'englobent cependant que les collisions ou les récupérations de bêtes rapportées, et le nombre réel d'accidents est donc en réalité plus élevé. Globalement pour la province, on a estimé que le nombre de collisions avec le cerf sur le réseau du Ministère s'élèverait à environ 5000, et avec l'orignal à 500 (M. Poulin, comm. pers.).

À cause de leur grande taille et de leur poids, les orignaux causent des accidents généralement plus graves que le cerf de Virginie ou l'ours noir. Lorsqu'un véhicule entre en collision avec un orignal, le corps de l'animal est souvent projeté sur le toit ou dans le pare-brise, ce qui explique que les occupants souffrent plus fréquemment de blessures à la tête et au cou que dans le cas des accidents avec les autres animaux (Ratthey et Turner, 1991 ; Gens, 2001). Les accidents mortels avec le cerf de Virginie sont rares et résultent généralement de collisions secondaires, après que le conducteur a tenté d'éviter l'animal. Au Québec, les statistiques dans différentes régions font état d'une incidence de blessures aux occupants du véhicule de 2 à 3 % pour les accidents impliquant le cerf de Virginie, alors que les accidents avec les orignaux engendrent des blessures dans 20 à 30 % des cas et sont responsables de la presque totalité des décès (Poulin, 2001a, 2002, de Bellefeuille *et al.*, 2003). Des incidences similaires ont été rapportées pour les collisions avec des cerfs aux États-Unis, soit 4 % en moyenne (Rue, 1989, dans Conover *et al.*, 1995), et pour les collisions avec l'orignal à Terre-Neuve, soit 20 % (Ratthey et Turner, 1991).

S'il est relativement facile d'évaluer les dommages matériels causés par les accidents avec la faune, il en est autrement lorsqu'il s'agit d'estimer les coûts associés aux blessures, car les méthodes d'évaluation varient beaucoup d'un endroit à l'autre, ce qui rend les comparaisons difficiles. Par exemple, aux États-

Unis, la Federal Highway Administration estime la valeur de chaque décès survenue dans un accident routier à 1,5 million \$ (US) (Romin et Bissonette, 1996), alors qu'au Québec, l'approche du capital humain utilisée par la Société de l'assurance automobile estimait ce coût à 482 000 \$ (CAN) en 2000. Le coût moyen d'un accident avec la grande faune, incluant les blessures et les dommages matériels, a été évalué récemment pour certaines régions de l'Est du Québec en utilisant l'approche du capital humain. Ce coût variait de 8000 à 14 000 \$, la moyenne étant proportionnelle au nombre d'accidents impliquant des orignaux (Poulin, 2001a, 2002; de Bellefeuille *et al.*, 2003).

Enfin, en plus d'estimer les coûts liés aux blessures des occupants du véhicule et les dommages à la propriété, certains auteurs ont tenté de quantifier la valeur de l'animal tué et les pertes sur le plan des activités récréatives et touristiques. Ainsi, à Terre-Neuve, Joyce et Mahoney (2001) ont évalué qu'en surplus des coûts liés aux dommages matériels et aux blessures, les 750 accidents avec les orignaux qui se produisent en moyenne chaque année causaient des pertes approximatives de 800 000 \$ (CAN) en viande et de 300 000 \$ en activités récréatives et touristiques. En Colombie-Britannique, on a aussi été estimé que les 4700 accidents routiers impliquant la faune qui se sont produits en 2000 auraient coûté 200 000 \$ (US) en perte de revenus provenant de la vente de permis de chasse et 20 millions en perte de valeur pour les résidents et les non-résidents qui observent ou chassent la faune (Reid, 2001 dans Sielecki, 2001).

Dans cette province, on a même considéré que le taux de mortalité était suffisamment important dans certains corridors routiers pour justifier un changement dans les quotas de chasse ou dans les orientations en matière d'aménagement récréatif. Ainsi, les quotas de chasse à l'orignal ont été réduits de 20 % en réponse à la mortalité des orignaux tués sur la route annuellement, évalué à environ 10 % de la récolte annuelle permise (Child *et al.*, 1991). À Terre-Neuve, pour la période à l'étude, le nombre d'orignaux tués dans des accidents correspond à 3 % de la récolte annuelle permise (Joyce et Mahoney, 2001), alors qu'au Minnesota cette proportion s'élève à environ <10 % (Belant, 1995). Au Québec, le nombre d'orignaux tués sur les routes (~ 500 ind.) correspondrait à environ 4 % de la récolte annuelle (~ 13 000 ind.; FAPAQ, 2002). Ce taux peut cependant être beaucoup plus élevé régionalement, à titre d'exemple, mentionnons la réserve faunique des Laurentides, où le nombre d'orignaux tués chaque année (~ 65 ind.; Poulin, 2001b) correspond à environ 32 % de la récolte annuelle (~ 200 ind.; FAPAQ, 2002). En ce qui concerne le cerf de Virginie, l'estimation de 5000 individus tués chaque année sur les routes de la province équivaldrait à 10 % de la récolte annuelle (~ 50 000 ind.; FAPAQ, 2002). Il faut cependant noter que ces taux constituent des seuils minimaux, car un grand nombre de collisions ne sont pas déclarées.

Ainsi, même s'il existe de nombreuses statistiques partielles, on reconnaît dans la littérature que les estimations concernant l'ampleur des dommages causés par les accidents routiers avec la grande faune sont sous-évalués et qu'ils ne permettent malheureusement pas de tirer des conclusions précises sur l'ampleur du problème et sur toutes ses conséquences socioéconomiques (Conover *et al.*, 1995 ; Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Messmer, 2000).

1.2. Causes des accidents

1.2.1. Patron saisonnier

La distribution temporelle et spatiale des accidents avec la grande faune n'est pas aléatoire, et elle est influencée par plusieurs facteurs. Un de ceux-ci est le patron d'activité saisonnier des espèces impliquées et leur comportement dans une région donnée (Case, 1978 ; Jolicoeur, 1985).

En règle générale, les accidents avec les cerfs sont plus fréquents au printemps et au début de l'été, de même qu'à l'automne (Bellis et Graves, 1971 ; Puglisi *et al.*, 1974 ; Fortier, 1982 ; Poulin, 2001a ; Sielecki, 2001). Au Québec, les sommets sont atteints en juin et novembre (Fortier, 1982 ; Poulin, 2001a, 2002 ; de Bellefeuille *et al.*, 2003).

En ce qui concerne l'orignal, la fréquence des accidents est habituellement plus élevée d'avril à octobre, avec un pic en mai et juin et un autre en octobre (Fortier, 1982 ; Farrell *et al.*, 1996 ; Joyce et Mahoney, 2001 ; Poulin, 2001a). Au Québec, les mois les plus à risque pour cette espèce sont mai, juin, juillet et octobre (Fortier, 1982 ; Poulin, 2001a ; Poulin, 2002 ; de Bellefeuille *et al.*, 2003).

À certains endroits, comme dans les Rocheuses ou dans le nord de la Suède, d'importantes accumulations de neige peuvent forcer les orignaux à migrer vers des habitats plus propices et les inciter à utiliser les routes déneigées pour leurs déplacements, ce qui fait qu'ils sont plus souvent impliqués dans des collisions entre octobre et mars (Lavsund et Sandegren, 1991 ; Belant, 1995 ; Sielecki, 2001). Il arrive aussi que sur les routes qui traversent des aires d'hivernage de cerfs, le taux d'accidents soit beaucoup plus élevé pendant les mois d'enneigement (Poulin, 2001c).

Le nombre plus élevé d'accidents observé au printemps peut être attribuable en partie aux déplacements accrus des cervidés au moment de la dispersion et avant la mise bas (Feldhammer *et al.*, 1986 ; Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Sielecki, 2001). Dans certaines régions, ceux-ci peuvent également être

attirés sur le bord des routes pendant cette période par la jeune végétation qui pousse dans l'emprise, ou encore par la présence de mares salines créées par le lessivage du sel de déglacage.

En effet, dans les milieux où la nourriture est rare, la végétation qui apparaît au printemps le long des routes, et qui est souvent entretenue tout l'été, peut attirer les cervidés et accroître les risques de collisions (Puglisi *et al.*, 1974 ; Carbaugh *et al.*, 1975 ; Case, 1978 ; Feldhammer *et al.*, 1986 ; Child *et al.*, 1991 ; Waring *et al.*, 1991). L'attrait qu'exerce sur les cervidés le sodium qu'on trouve le long des routes a aussi été bien documenté (Grenier, 1974 ; Fortier, 1982 ; Fraser et Thomas, 1982 ; Jolicoeur, 1985 ; Miller et Litvaitis, 1992 ; Jones *et al.*, 1986 ; Sielecki, 2001). Cette attirance pour le sel résulterait d'un besoin physiologique causé par un déséquilibre dans la diète et se manifesterait particulièrement au printemps. Les cervidés combleraient naturellement ces besoins en fréquentant des sources minérales naturelles et en ingérant des végétaux aquatiques riches en minéraux (Couturier, 1984 ; Jolicoeur, 1985 ; Miller et Litvaitis, 1992 ; Bechtold, 1996). Dans les milieux où les sources minérales naturelles sont rares ou inexistantes, comme c'est le cas sur tout le bouclier canadien, les mares salines présentes sur le bord des routes pourraient combler plus efficacement les besoins en sel que l'ingestion de plantes aquatiques, d'autant plus qu'elles sont disponibles plus rapidement au printemps (Jolicoeur, 1985 ; Miller et Litvaitis, 1992).

À l'automne, les déplacements accrus des cervidés pendant la période du rut rendent ces derniers plus exposés aux collisions routières (Puglisi *et al.*, 1974 ; Lavsund et Sandegren, 1991). Au Québec, cette période est concentrée en octobre pour l'orignal et en novembre pour le cerf de Virginie, ce qui correspond aux pics de collisions respectifs observés pour ces espèces (Fortier, 1982 ; Poulin, 2001a, 2002 ; de Bellefeuille *et al.*, 2003). Certains auteurs pensent aussi que les activités de chasse peuvent accroître les déplacements des cervidés à l'automne et expliquer en partie le nombre plus élevé d'accidents pendant cette saison (Puglisi *et al.*, 1974).

1.2.2. Patron journalier

Les accidents avec la grande faune montrent également un patron journalier : on observe un plus grand nombre d'accidents entre le coucher et le lever du soleil, particulièrement au crépuscule et à l'aurore. Ces périodes correspondent à une activité plus intense des cervidés, qui se déplacent entre leur aires de repos et d'alimentation, de même qu'à un volume de trafic souvent accru et à une visibilité diminuée (Carbaugh *et al.*, 1975 ; Child *et al.*, 1991 ; Joyce et Mahoney, 1991 ; Belant, 1995 ; Hildebrand et Hodgson, 1995 ; Farrell *et al.*, 1996 ; Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Putman, 1997).

En Finlande, des chercheurs ont accumulé des informations sur le lieu et la période d'occurrence de plus de 20 000 accidents avec l'orignal et le cerf de Virginie afin de déterminer l'heure à laquelle ils se sont produits en fonction du lever et du coucher du soleil. Un taux d'accidents a ensuite été calculé en tenant compte du trafic journalier. Ces chercheurs ont observé que le nombre d'accidents était plus élevé une à deux heures avant le lever du soleil et que ceux-ci étaient très concentrés dans les trois heures suivant son coucher, et ce, pour l'ensemble de l'année et pour les deux espèces impliquées. Lorsque le volume journalier du trafic était pris en compte, le risque d'accidents atteignait un sommet une heure après le coucher du soleil. Les auteurs expliquent ces résultats par le fait que les cervidés sont plus actifs à l'aube et au crépuscule et que la visibilité des conducteurs est diminuée pendant ces périodes (Haikonen et Summala, 2001).

1.2.3. Sexe et âge des cervidés impliqués

Certains auteurs n'ont décelé aucune différence annuelle significative en ce qui a trait au sexe ou à l'âge des cervidés impliqués dans une collision (Puglisi *et al.*, 1974 ; Joyce et Mahoney, 1991 ; Belant, 1995). D'autres ont pour leur part remarqué que les femelles étaient plus souvent victimes d'accidents routiers (Bellis et Graves, 1971 ; Fortier, 1982 ; Feldhamer *et al.*, 1986 ; Sielecky, 2001), mais ce résultat pourrait n'être que le reflet du ratio mâle/femelle de la population étudiée (Fortier, 1982 ; Feldhamer *et al.*, 1986).

1.2.4. Densité des populations

La densité des populations d'ongulés à proximité des routes influence grandement la probabilité de collisions (Puglisi *et al.*, 1974 ; Case, 1978 ; Sage *et al.* 1983 ; Farrell *et al.*, 1996 ; Finder *et al.*, 1999 ; Joyce et Mahoney, 2001). Cette densité est elle-même liée étroitement à la qualité de l'habitat et à la topographie, qui peuvent concentrer les cervidés sur des sections de route particulières (Puglisi *et al.*, 1974 ; Farrell, 2002). Ainsi, les routes qui traversent des habitats de grande qualité ou qui croisent des passages naturels, comme des vallées, sont plus à risque en ce qui a trait aux accidents avec la faune (Reed et Woodard, 1981 ; Hubbard *et al.*, 2000).

1.2.5. Habitats

L'habitat à proximité des portions de route où il y a des risques de collisions avec la grande faune est généralement de bonne qualité pour les cervidés, c'est-à-dire qu'il leur procure nourriture et abri. Il n'y a cependant pas de consensus sur les caractéristiques des habitats entourant les sites problématiques. Une étude menée dans le Maine visant à comparer les sites ayant de forts taux d'accidents n'a révélé aucune similitude entre eux, mis à part le fait qu'ils possédaient des caractéristiques propres aux terrains humides (Van-Riper, 2001). D'autres auteurs ont montré que des sections de route problématiques pour ce qui a

trait aux accidents avec les cerfs étaient souvent localisées à la frontière entre des milieux boisés et des champs, c'est-à-dire entre les aires de repos et d'alimentation (Puglisi *et al.*, 1974; Carbaugh *et al.*, 1975 ; Bashore *et al.*, 1985). Sur les routes qui traversent des milieux très homogènes, c'est-à-dire où l'on trouve de grandes superficies couvertes par la forêt ou encore par des champs, les accidents semblent répartis plus uniformément (Bellis et Graves, 1971; Bashore *et al.*, 1985 ; Hubbard *et al.*, 2000).

1.2.6. Caractéristiques de la route

Les caractéristiques de la route, comme la sinuosité, le nombre de voies, le volume et la vitesse du trafic, sont aussi susceptibles d'avoir une influence sur la fréquence des accidents avec la faune. Ces facteurs, qui seront décrits plus amplement dans la section sur les mesures de mitigation visant à réduire le nombre de ces accidents, n'ont cependant pas souvent été étudiés spécifiquement et il n'y a pas de consensus sur leurs effets.

2. Mesures de mitigation visant à réduire le nombre d'accidents routiers impliquant des cervidés

2.1. Objectif : Prévenir la présence d'animaux sur la route par la pose d'obstacles ou la réduction des populations

2.1.1. Les clôtures

La construction de barrières, comme des clôtures, est une des approches les plus courantes pour prévenir les collisions avec les ongulés. À condition d'être bien construites et entretenues régulièrement, les clôtures pour la grande faune permettant généralement de réduire le nombre d'accidents avec des cervidés (Falk *et al.*, 1978 ; Reed *et al.*, 1980 ; Ward, 1982 ; Ludwig et Bremicker, 1983 ; Bashore *et al.*, 1985 ; Skolwing, 1985 ; Feldhamer *et al.*, 1986 ; Lavsund et Sandegren, 1991 ; McDonald, 1991 ; Désiré et Stark, 1998 ; MIWGWMVC, 2001).

Les clôtures installées pour limiter la présence des cervidés sur les routes sont généralement faites d'un treillis métallique et ont une hauteur variant entre 2,2 et 2,8 m (Feldhamer *et al.*, 1986 ; Bernard, 1987, Désiré et Stark, 1998 ; Müller et Berthoud, 1999). Il n'y a pas de consensus sur la hauteur minimale que ces clôtures devraient avoir, mais en général une hauteur de 2,4 m semble suffisante pour empêcher le passage de la majorité des cervidés. Ainsi, une clôture de 2,3 m de hauteur aurait réduit de 42 % l'utilisation d'une emprise d'autoroute par le cerf mulot (Lehnert et Bissonette, 1997). Ward (1982) a pour sa part rapporté une diminution de 90 % des accidents routiers avec les cerfs après la pose d'une clôture de 2,4 m le long d'une section d'autoroute. Enfin, Feldhamer *et al.* (1986) ont conclu que les cerfs sautaient rarement par-dessus une clôture de 2,7 m.

Lorsque le problème de la présence des cervidés sur les routes se pose aussi en hiver, l'enneigement doit être pris en compte dans la détermination de la hauteur de la clôture (Ward, 1982 ; Lavsund et Sandegren, 1991). L'ajout d'une extension en angle au-dessus de celle-ci est déconseillé par Putman (1997), car les cervidés qui tentent de sauter peuvent rester pris.

Pour être efficaces, les clôtures doivent également tenir compte de la topographie et être inspectées fréquemment, car les animaux exploitent très vite une brèche, un endroit érodé ou une dénivellation (Falk *et al.*, 1978 ; Ward, 1982 ; Feldhamer *et al.*, 1986 ; Foster et Humphrey, 1995). Selon Falk *et al.* (1978), le cerf de Virginie peut passer dans des ouvertures aussi petites que 23 cm. Contrairement au cerf, l'orignal n'aurait pas tendance à tenter de franchir les barrières par le dessous : et en Alaska, un grillage

de 2,4 m de hauteur installé à 30 cm du sol a semblé efficace pour empêcher cette espèce de traverser une autoroute (McDonald, 1989).

Lorsqu'on choisit la clôture comme moyen de limiter les déplacements des cerfs, il ne faut pas se préoccuper uniquement de sa hauteur, de sa qualité et de son entretien, mais aussi de sa longueur (Danielson et Hubbard, 1998). En se basant sur les déplacements latéraux moyens des cerfs le long de clôtures de 2,4 m, Reed et Ward (1985) ont suggéré que de telles clôtures devraient s'étendre approximativement sur 0,8 km au-delà des aires de concentration des populations.

Malheureusement, il n'est pas possible de prévenir l'entrée par les extrémités de la clôture ou par les échangeurs d'autoroute, et des échappatoires doivent donc être prévues pour diminuer les risques d'accidents causés par des animaux prisonniers du corridor clôturé (Ward, 1982 ; Feldhamer *et al.*, 1986 ; Putman, 1997).

Des portillons à sens unique (ouvertures entourées de barreaux courbés qui pointent vers l'extérieur) ont été testés dans quelques études réalisées aux États-Unis. Alors que Lehnert et Bissonette (1997) ont remarqué que le cerf mulet semblait réticent à utiliser les portillons, Reed *et al.* (1974a) ont constaté que ces structures pouvaient être efficaces pour permettre à cette espèce de fuir la voie de circulation, lorsqu'elles étaient mises à des endroits stratégiques. En effet, ce sont les portillons placés à proximité d'un cours d'eau ou d'un couvert végétal qui étaient les plus employés. En Alaska, McDonald (1991) a observé que les portillons étaient utilisés par des orignaux, mais il mentionne qu'il faut porter une attention particulière à la lubrification des charnières en hiver, car les portes avaient tendance à demeurer ouvertes lorsque la température descendait sous le point de congélation. Des auteurs ont suggéré que des sauts à sens unique, sortes de rampes faites de terre ou autre, pourraient être plus efficaces pour permettre aux cervidés de s'échapper de la zone clôturée (Lehnert et Bissonette, 1997 ; Van Manen *et al.*, 2001). Selon Van Manen *et al.* (2001), les échappatoires à sens unique devraient être installées à tous les 200 à 300 m.

De plus, pour éviter la fragmentation de l'habitat, la pose de clôture sur de grandes distances devrait être accompagnée de passages à faune, installés au moins à tous les 1,6 km le long de la clôture, dans les sections où de tels passages sont nécessaires (Reed et Ward, 1985). Enfin, les clôtures ne devraient pas être posées de façon à isoler le couvert de fuite d'aires d'alimentation ou de repos importantes. En effet, un projet mené dans le parc national de Banff a montré que les loups et les coyotes pouvaient intégrer la clôture dans leurs stratégies de chasse, en rassemblant des hardes et en les dirigeant vers celle-ci (Waters, 1988 dans Foster et Humphrey, 1995).

Les coûts associés à l'installation d'une clôture à cervidés, sans tenir compte de la préparation du terrain ni de l'entretien, sont estimés à environ 50 000 \$ (CAN)/km, soit 100 000 \$ pour clôturer chaque côté de la route (MIWGW MVC, 2001 ; MTQ, 2001a). Même si la clôture, associée à des passages, semble la méthode la plus efficace parmi celles actuellement disponibles, pour réduire le nombre d'accidents avec la faune, certains auteurs jugent que les coûts liés à sa construction et son entretien peuvent être prohibitifs dans certains cas (Danielson et Hubbard, 1998) et n'être justifiés que pour de courtes sections de routes importantes (Bashore *et al.*, 1985 ; Putman, 1997).

Il y a en effet un certain seuil de fréquence d'accidents en dessous duquel le ratio avantages-coûts ne sera pas favorable à la construction d'une clôture, même si celle-ci est efficace à 100 % (Reed *et al.*, 1982 ; Lavsund et Sandegren, 1991). Au Colorado, Reed *et al.* (1982) ont recommandé que les clôtures de 2,4 m ne soient posées que lorsque le ratio avantages-coûts est de plus de 1 : 1,36. Ainsi, dans leur contexte, la pose de telles clôtures de chaque côté d'une route ne serait envisagée que lorsqu'un minimum de 16 collisions avec des cerfs surviennent par section de 1,6 km par année.

Outre le coût d'installation élevé, les principales difficultés associées au clôturage sont le manque d'efficacité près des échangeurs et le besoin de faire un suivi constant des brèches (Ward, 1982). Foster et Humphrey (1995) conseillent de contrôler la végétation près des clôtures pour détecter plus facilement les défauts. Reed *et al.* (1982) ont estimé le coût d'entretien annuel des clôtures à environ 1 % des coûts de construction. Les autres désavantages rapportés sont liés à l'impact visuel négatif (Skolving, 1985) et à la fragmentation de l'habitat lorsque les passages à faune sont inexistants ou insuffisants (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Muller, 1998 ; Farrell, 2002).

Au Québec, on prévoit d'expérimenter sur une courte distance, une clôture mixte qui serait composée de la clôture de non-accès en métal déjà présente en bordure de l'emprise, à laquelle serait superposée une clôture à maillage de polyéthylène. Il en résulterait une clôture d'une hauteur totale de 2,4 m, qui aurait entre autres comme avantages de ne pas nécessiter de préparation du terrain, d'avoir un faible impact visuel et de permettre le passage de la petite faune (Poulin, 2003).

2.1.2. Les structures de franchissement anti-ongulés

Lorsqu'une route est clôturée, les voies qui s'y raccordent doivent faire l'objet d'une attention spéciale et être munies de structures empêchant le passage des cervidés (Ward, 1982 ; Lavsund et Sandegren, 1991). Des portes grillagées peuvent être installées sur les routes peu passantes, mais elles sont impensables sur des voies plus fréquentées. Une solution présentement expérimentée à certains endroits en Amérique du

Nord est la structure de franchissement anti-ongulés, appelée communément en anglais « ungulate guard », « cattle guard », « cattle gate » ou encore « Texas gate ». Cette structure, permet le passage des véhicules tout en empêchant celui des ongulés, est faite de fines poutres ou de tuyaux disposés parallèlement sur un cadre et espacés. Cette grille est posée à l'entrée de la route au niveau du sol et un espace vide, d'une hauteur d'un mètre ou moins, est habituellement aménagé en dessous. Le système, communément utilisé pour le bétail, exploite l'inconfort et la crainte qu'auraient les ongulés à se déplacer sur des montants minces ou ronds, espacés, qui laissent entrevoir le vide.

Même si des structures de franchissement anti-ongulés semblent de plus en plus employées dans l'ouest du continent le long d'autoroutes clôturées (Lo, 2000 ; Highway Service Center Parks Canada, 2002), les données sur leur efficacité sont très rares. Au Colorado, les performances d'une structure composée de petites poutres d'acier de 1,27 cm de largeur, espacées de 10 cm, a été étudiée dans le cas du cerf mulet. Des grillages de différentes longueurs (3,6, 5,5 et 7,3 m) ont été testés dans des conditions contrôlées et en nature. Dans les conditions contrôlées, 18 cerfs captifs ont été relâchés un à un dans un enclos où la seule issue était la structure de franchissement. Seize d'entre eux ont franchi l'obstacle en moins de 3 minutes en moyenne. Aucun cerf n'a tenté de sauter par-dessus le grillage, peu importe la longueur testée, même s'ils sont capables de faire des bonds de près de 9 mètres. Quelques cerfs se sont passés toutes les pattes à travers le grillage sans se blesser. Ils se sont sortis de cette position en se roulant sur le côté afin de remettre leurs sabots sur les poutres et ont terminé la traversée. Les ergots ont semblé fort utiles pour garder une certaine préhension sur les poutres fines. Des suivis de pistes ont montré que cette structure de franchissement n'était pas plus efficace en conditions naturelles (Reed *et al.*, 1974b).

Un autre type de structure de franchissement simulée a été expérimenté en Ohio, à l'intersection de voies d'accès et d'un champ d'aviation clôturé. Celle-ci consistait en un grillage (4,6 × 3 m) composé de tuyaux de PVC de 7,6 cm de diamètre, espacés à l'aide de séparateurs de 12,7 cm et posés sur un cadre de bois. Les chercheurs n'ont pas fixé les tuyaux, car ils craignaient les blessures que pourrait s'infliger un animal qui se prendrait les pattes dans le grillage. Des tests ont été réalisés avec des excavations de 0,5 et de 1 m. La structure a diminué de plus de 95 % le nombre de passages journaliers de cerfs, peu importe la profondeur de l'excavation (Belant *et al.*, 1998a).

Des structures de franchissement basées sur un modèle très semblable, mais conçues pour des conditions routières réelles, sont présentement utilisées à des intersections de sections clôturées de l'autoroute Transcanadienne dans le parc de Banff en Alberta et en divers endroits en Colombie-Britannique. Le coût d'une structure de franchissement qui répond aux normes de la Colombie-Britannique varie entre 30 000 et 50 000 \$, le prix le plus élevé étant celui d'une structure qui doit supporter le poids des camions de bois.

Ces structures ne peuvent être employées que sur des routes secondaires, car leur surface inégale les rend dangereuses à haute vitesse. Elles sont aussi difficiles à déneiger et demeurent très glissantes. Enfin, des automobilistes se plaignent que ces structures leur font perdre leurs enjoliveurs (L. Sielecki, comm. pers.).

Il n'y a malheureusement pas encore d'études qui ont été réalisées pour déterminer l'efficacité réelle de ces structures de franchissement anti-ongulés (Highway Service Center Parks Canada, 2002 ; L. Sielecki, comm. Pers.). Toutefois, l'ingénieur qui est responsable de ce dossier au ministère des Transports de la Colombie-Britannique mentionne qu'elles semblent efficaces de prime abord, mais il formule des craintes quant aux risques que des animaux se blessent en tentant de les franchir et sur la possibilité que certains puissent éventuellement apprendre à les traverser (L. Sielecki, comm. Pers.).

2.1.3. Les passages

Utilisés avec des clôtures suffisamment hautes et bien entretenues, les passages à faune supérieurs ou inférieurs donnent la possibilité aux cervidés d'éviter une route, sans perturber leurs déplacements ou leur migrations (Reed et Ward, 1985).

Différents types de passages inférieurs ou supérieurs peuvent être utilisés efficacement en combinaison avec la pose de clôtures (Groot Bruinderinck et Hazebroek, 1996). Les principales caractéristiques des passages qui peuvent influencer leur utilisation par les grands mammifères sont les dimensions de la structure, son emplacement, le couvert présent à proximité et le taux d'activités humaines (Reed et Ward, 1985 ; Groot Bruinderinck et Hazebroek, 1996 ; Clevenger et Waltho, 2000 ; Ruediger, 2001).

Pour accroître leur utilisation, les structures doivent paraître le plus naturelles possible et être installées dans des endroits fréquentés par la faune (Foster et Humphrey, 1995; Ruediger, 2001). Au moment de la planification de passages, il faut donc tenir compte des sentiers traditionnels utilisés par les espèces visées et de l'ampleur de leurs déplacements afin de choisir des endroits adéquats, et déterminer la distance appropriée entre chacun des passages. Des chercheurs ont découvert que des passages dont l'emplacement ne tenait pas compte des sentiers traditionnels se révélaient inefficaces, même si des clôtures étaient posées pour diriger les cerfs vers les entrées (Hanna, 1982, dans Foster et Humphrey, 1995 ; Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996).

2.1.3.1. Les passages supérieurs

Les passages supérieurs combinés à des clôtures peuvent être des options envisageables pour réduire le nombre de collisions avec les animaux sur les routes existantes (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Putman, 1997). Selon Groot Bruinderink et Hazebroek (1996), le passage aérien le plus efficace est court,

offre un large champ de vision et est couvert de terre et de végétation. Il n'y a pas de consensus sur les dimensions que devraient avoir ces ouvrages. Certains suggèrent une largeur minimale de 30 m (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Putman 1997), une largeur à l'entrée de 50 à 60 m et la pose de clôtures de 1,5 m sur les côtés (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996). Pour réduire les coûts, des passages en forme de sablier, plus étroits au centre, sont toutefois employés en France (8 à 15 m; Bernard, 1987; Bank *et al.* 2002) et expérimentés présentement en Suède, notamment pour l'orignal (16 m; Olsson, 2002). Enfin, certains auteurs croient que les passages les plus efficaces sont horizontaux, c'est-à-dire qu'ils surplombent un tunnel routier (Foster et Humphrey, 1995 ; Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996).

Pour exprimer la perception visuelle que pourrait avoir un cervidé qui s'approche d'un passage supérieur donné, Reed et Ward (1985) ont formulé un « effet de pont » avec l'équation suivante :

$$\frac{\text{Largeur} \sqrt{\text{hauteur}}}{\text{Longueur}}$$

Au Colorado, des cerfs n'ont montré qu'une aversion faible ou modérée pour des passages supérieurs ayant des effets de pont de 0,34 et 0,65 (Reed *et al.*, 1979, dans Reed et Ward, 1985). Un passage supérieur double ayant un effet de pont de 0,26 et construit spécifiquement pour le cerf a aussi démontré son efficacité en Utah (D. Beale comm. pers., dans Reed et Ward, 1985). Le succès de cette structure a été attribué en grande partie à son emplacement, à la topographie, à la présence de couvert végétal et à l'absence de plafond (Reed et Ward, 1985).

Dans le parc de Banff, en Alberta, 22 passages inférieurs et deux passages supérieurs sont étudiés depuis quelques années (Clevenger et Waltho, 2000). Les passages inférieurs sont très fréquentés par les cervidés, mais les passages supérieurs semblent l'être encore plus (Clevenger, 1999). Les coûts généralement plus élevés des passages supérieurs limitent cependant leur utilisation.

2.1.3.2. Les passages inférieurs

Même si plusieurs designs de passages inférieurs pour les cervidés ont été expérimentés, les dimensions minimales acceptables ne sont pas clairement établies. Les petites structures, comme les ponceaux, rebuteraient plusieurs espèces, dont les cervidés, parce qu'elles ont tendance à être sombres, qu'elles n'ont pas l'humidité nécessaire à la croissance de végétation et, surtout, parce qu'elles créent un effet de tunnel (Bernard, 1987 ; Foster et Humphrey, 1995 ; Ruediger, 2001). Les structures qui ont une plus grande ouverture offrent plus de luminosité et une meilleure visibilité, et paraissent ainsi plus naturelles. Les passages qui permettent aux animaux d'avoir une vue non obstruée de l'habitat ou de l'horizon de l'autre

côté sont plus efficaces et, selon la plupart des chercheurs, cette caractéristique serait encore plus importante que la hauteur et la largeur mêmes de la structure (Foster et Humphrey, 1995 ; Ruediger, 2001).

Certains auteurs ont quantifié l'effet d'ouverture des passages inférieurs de la manière suivante (Reed et Ward, 1985 ; Bernard, 1987):

$$\frac{\text{Hauteur} \times \text{largeur}}{\text{Longueur}}$$

Reed *et al.* (1975) ont rapporté que des cerfs mulot se sont habitués avec le temps à utiliser un passage souterrain construit pour faciliter leur migration et dont l'effet d'ouverture était de 0,31 ($3,05 \times 3,05 \times 30,5$ m). Plusieurs cerfs seraient cependant demeurés réticents à le traverser. Cette aversion n'a pas été constatée dans le cas de passages inférieurs de type pont (*open-span*) qui avaient des ouvertures variant de 4,57 à 5,57 (Reed *et al.*, 1979, dans Reed et Ward, 1985 ; Ward, 1982).

Ainsi, pour des cerfs mulot très motivés à traverser une route, comme au moment d'une migration, Reed et Ward (1985) suggèrent de construire des passages inférieurs ayant un effet d'ouverture de plus de 0,6. Pour des cerfs moins motivés, ils proposent une structure plus imposante, de type pont. Dans les deux cas, une hauteur d'au moins 4,3 m et une longueur minimale sont conseillées (Reed *et al.*, 1975). En France, il est recommandé que les passages inférieurs construits pour permettre le passage du cerf élaphe aient une hauteur de plus de 4 m et un effet d'ouverture supérieur à 1 (Bernard, 1987). En Alaska, un sentier de 3 m de largeur, possédant un espace de dégagement minimal de 3,2 m, a été réalisé sous un nouveau pont et est utilisé par les orignaux (McDonald, 1991).

Foster et Humphrey (1995), qui ont observé des cerfs de Virginie traverser des passages inférieurs de type pont avec une aire de dégagement de seulement 2,1 m, croient pour leur part qu'une hauteur plus grande pourrait ne pas être essentielle et qu'il est peut-être incorrect d'attribuer la même importance à la largeur et à la hauteur dans l'équation du ratio d'ouverture.

a) *Surface*

Il n'y a pas beaucoup de recherches qui ont été faites sur la surface du sol dans les passages à faune. Des chercheurs ont observé que des cervidés tels le cerf de Virginie, le cerf mulot, le wapiti, le chevreuil et le cerf rouge, préfèrent utiliser des sentiers plutôt que les surfaces des routes lorsqu'ils passent sous des viaducs. En Europe, on a aussi remarqué que la plupart des espèces semblent favoriser les sols naturels, la roche, la végétation et les gros débris ligneux, et seraient réticentes à utiliser les surfaces en ciment, en

asphalte ou en gravier (Ruediger, 2001). Foster et Humphrey (1995) ont cependant remarqué l'utilisation de passages dont le substrat, composé de sable et de gravier avec des graminées et d'autres plantes herbacées dispersées, différait distinctement de l'habitat environnant.

Aux États-Unis, on recommande de conserver une végétation basse (< 1,2 m) de début de succession, aux abords et sous les passages inférieurs (Van Manen *et al.*, 2001).

b) *Lumière et humidité*

Lorsqu'un passage doit traverser plusieurs voies de circulation, il serait préférable de le diviser pour réduire l'effet de tunnel (Foster et Humphrey, 1995). En France, on a toutefois tenté d'améliorer un passage double qui n'était pas utilisé par la faune en fermant l'espace laissé ouvert au centre de l'ouvrage autoroutier, afin d'atténuer le bruit causé par le passage des véhicules. Cette modification n'a pas accru la fréquentation du passage dans l'année qui a suivi (Vignon et Walczak, 1998).

Reed *et al.* (1975) n'ont pas remarqué qu'un éclairage, artificiel ou naturel, augmentait l'utilisation des passages inférieurs par le cerf mulet au Colorado. Cependant, d'autres auteurs croient que, pour réduire l'effet de tunnel et rendre le passage plus naturel, la luminosité et l'humidité devraient être maximisées, principalement en construisant des passages hauts et larges (Reed et Ward, 1985 ; Foster et Humphrey, 1995 ; Ruediger, 2001).

c) *Activité humaine*

La relation qui existe entre l'utilisation des passages par les animaux, le niveau de bruit et la fréquentation par les humains semble évidente, mais elle n'a pas été étudiée spécifiquement.

Peu de tentatives visant à réduire le bruit du trafic dans des passages ont été documentées. Dans le parc de Banff, des talus de terre ont été ajoutés de chaque côté de passages supérieurs pour limiter la pollution sonore et visuelle provenant des véhicules (Highway Service Center – Parks Canada Agency, 2002). Des observations ont cependant montré que les animaux utilisaient les talus pour franchir la clôture bordant le passage et des débris ont dû être empilés sur ceux-ci pour éviter ce problème (Bédard, 2000). Pour atteindre le même objectif, l'emploi de haies végétales est conseillé en France (Bernard, 1987), alors qu'en Suède on expérimente présentement des écrans de verre teinté gris de 2 m de hauteur (Olsson, 2002). Ruediger (2001) a pour sa part suggéré que des barrières antibruit, comme celles utilisées dans les villes, pourraient être employées là où le bruit et la lumière provenant des voitures peuvent dissuader la faune d'utiliser des passages.

Des travaux récents ont montré que les carnivores utilisaient moins les structures de passages qui montraient de forts taux d'activités humaines (Clevenger et Waltho, 2000 ; Gloyne et Clevenger, 2001). D'autres auteurs ont mentionné que la présence humaine dans des passages fauniques avait nuit à leur utilisation par les ongulés (Foster et Humphrey 1995 ; Vignon et Walczak, 1998). Selon Clevenger et Waltho (2000), même le meilleur passage pour les grands mammifères au point de vue de la structure et de l'emplacement ne sera pas efficace si l'activité humaine n'est pas contrôlée dans ses environs. Certains ont aussi mentionné que le territoire adjacent aux passages à faune devrait avoir un statut de refuge pour que les animaux ne soient pas dérangés pendant leurs traversées (Van Manen *et al.*, 2001 ; Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996). En Caroline du Nord, le territoire environnant des passages de type pont a reçu un statut spécial, et la chasse et la violation de propriété y sont interdites. À l'entrée de ces passages, on recommandait aussi de mettre des colonnes de ciment de 60 cm de haut, distancées d'environ un mètre, pour empêcher le passage des véhicules tout-terrain (Van Manen *et al.*, 2001).

d) *Emplacement*

Sans égards aux autres facteurs, l'emplacement du passage faunique aura une influence importante sur sa performance. Les passages les plus efficaces sont situés près de sentiers traditionnels utilisés par la faune (Foster et Humphrey, 1995). L'emplacement adéquat peut être déterminé à partir d'informations provenant de données sur les accidents routiers, d'études télémétriques, d'observations de pistes ou de traversées d'animaux. Il est aussi important d'analyser la connectivité entre les habitats et de la prendre en considération dans le choix de l'emplacement du passage. Pour déterminer cette connectivité et s'assurer d'un usage cohérent du territoire, il faut cartographier et analyser les données sur la végétation, la topographie, le drainage et l'utilisation anthropique du territoire (Ruediger, 2001).

Les cours d'eau, même ceux qui sont intermittents, sont d'excellents endroits pour construire un passage. Les structures doivent alors être conçues de manière à préserver l'intégrité du cours d'eau et à laisser un espace suffisant pour que les animaux puissent utiliser le passage, peu importe le niveau de l'eau (Ruediger, 2001). L'utilisation de passages inférieurs et supérieurs peut aussi être accrue en les plaçant dans des endroits où il y a un bon couvert de végétation de chaque côté de la voie de circulation (Putman, 1997). Malgré un emplacement bien choisi, il se peut cependant qu'une compétition interspécifique influence l'utilisation du passage par la faune, car des chercheurs ont remarqué que les cervidés avaient tendance à éviter les passages fréquentés par des prédateurs (Foster et Humphrey, 1995 ; Clevenger et Waltho, 2000).

Le nombre de passages nécessaires et leur espacement sont également des facteurs importants à considérer, qui seront fonction des densités et des déplacements des populations fauniques visées et de

l'emplacement des sentiers traditionnels (Foster et Humphrey, 1995). Dans les projets où la construction de plusieurs passages inférieurs était devenue nécessaire à cause du clôturage d'une grande portion d'autoroute, la distance conservée entre les structures variait généralement entre 1 et 3 km (Reed et Ward, 1985 ; Bernard, 1987 ; Foster et Humphrey, 1995).

Enfin, les passages supérieurs et inférieurs nécessitent une période d'ajustement pour que les cervidés s'habituent à eux (Ward, 1982 ; Putman 1997). Différentes méthodes ont parfois été utilisées pour tenter de familiariser les cervidés avec des passages comme la plantation de végétation attirante aux abords des structures (Bernard, 1987) ou l'ajout, à l'intérieur de passages inférieurs, de nourriture (McDonald, 1991) ou de fèces de l'espèce visée (Vignon et Walczak, 1998). Une fois que les animaux se sont habitués à un passage, la performance de ce dernier serait plus influencée par les caractéristiques du paysage et les activités humaines qui se déroulent à proximité que par les attributs de la structure (Gibeau et Herrero, 1998, dans Clevenger et Waltho, 2000).

e) *Coûts*

Même si la pose de clôtures associée à la construction de passages inférieurs ou supérieurs semble être efficace pour réduire le nombre de collisions avec la grande faune, les coûts élevés et la nécessité de déterminer les sites propices font que cette solution a jusqu'à maintenant été peu utilisée et qu'elle pourrait ne pas être appropriée dans plusieurs cas (Romin et Bissonette, 1996 ; Lehnert et Bissonette, 1997).

Étant donné que la modification des routes existantes est relativement coûteuse, Groot Bruinderink et Hazebroek (1996) conseillent d'inclure l'aménagement de passages inférieurs et supérieurs dans la planification des projets de construction routière. Si les caractéristiques hydrologiques sont prises en compte, les passages inférieurs peuvent être construits plus économiquement que les passages supérieurs, en élargissant les futurs ponts ou en modifiant ceux qui existent déjà (Reed *et al.*, 1975 ; Reed, 1981 dans Danielson et Hubbard, 1998 ; Putman, 1997). Ainsi, tous les ponts devraient être vus comme une occasion de réaliser des passages à faune (Hubbard *et al.*, 2000 ; Ruediger, 2001).

Lehnert et Bissonette (1997) mentionnent que les coûts associés à la construction *a posteriori* de passages inférieurs sur des autoroutes à deux et quatre voies variaient entre 92 000 \$ et 173 000 \$ (US). En Colombie-Britannique, des coûts similaires ont été encourus pour la construction de ponceaux préfabriqués en ciment de 2 x 3 m (McGuire, 2000). Ce même auteur rapporte des coûts moyens de 150 000 à 300 000 \$ (CAN) pour des ponceaux en métal de 4 x 7 m et de 450 000 à 900 000 \$ pour des passages de type pont (*open-span*). Il mentionne également que, dans le parc de Banff, la construction de

passages supérieurs a coûté en moyenne 875 000 et 1 750 000 \$ pour des autoroutes à 2 et 4 voies, respectivement. Enfin, il a estimé que les coûts liés à l'élévation d'une route (pont de 200 m) varient entre 6 et 12 millions, alors que ceux liés à son enfouissement (tunnel de 200 m) oscillent entre 20 et 23 millions (McGuire, 2000).

2.1.4. Les traverses

Une solution de rechange aux structures coûteuses est l'utilisation de passages cloutés, qui consistent en une ouverture dans la clôture, accompagnée de panneaux de signalisation avertissant les automobilistes de la présence d'une traverse d'animaux.

Les traverses sont habituellement utilisées en combinaison avec le clôturage, afin de diriger les cervidés à des emplacements précis. Lehnert et Bissonette (1997) ont étudié un système de traverse composé de sentiers de terre bordés de galets de rivière, placés de part et d'autres des voies de circulation. Les galets ont été utilisés pour décourager les cerfs de quitter le sentier, car ceux-ci n'aimeraient pas se déplacer sur des surfaces rocheuses irrégulières. Des lignes de peinture délimitaient bien la traverse sur la chaussée, afin de prévenir les automobilistes et peut-être inciter visuellement les cervidés à se diriger de l'autre côté de la route.

L'emprise a été clôturée avec des clôtures de 2,3 m de hauteur, pour restreindre l'accès des cerfs à la végétation le long de la route et les diriger vers les traverses. Lorsque le cerf arrivait près de la traverse, il devait sauter une clôture d'un mètre de haut pour entrer dans un entonnoir clôturé. Une fois à l'intérieur, l'animal avait le choix de brouter la végétation de l'emprise ou de continuer de s'approcher de la route. L'entonnoir convergeait vers une petite ouverture située à 9,1 m de la chaussée, où débutait le sentier, la réglementation en vigueur empêchant la pose d'un obstacle plus près de la route. Quatre portillons à sens unique étaient placés près de la traverse pour permettre aux cerfs qui auraient quitté le sentier de sortir de l'emprise de la route. Enfin, une série de trois panneaux de signalisation prévenant les automobilistes de la présence de la traverse ont été posés de chaque côté de la route à une distance de 152 m l'un de l'autre.

Lehnert et Bissonette (1997) ont conclu que ce système de traverse avait réduit les taux de mortalité des cerfs de 42 et de 36 % sur des autoroutes à 4 et à 2 voies respectivement. Cependant, les réductions n'ont pu être vérifiées statistiquement, parce qu'il n'y avait pas de réplification des autoroutes évaluées et que la section témoin n'était pas indépendante de la section testée. L'étude a cependant montré que le design de la traverse pourrait avoir augmenté la tendance des cerfs mulet à marcher sur la chaussée pour contourner les galets et aller brouter dans l'emprise. La plupart des accidents mortels qui se sont produits près des

traverses sont dus à la présence de cerfs s'alimentant dans l'emprise à l'intérieur de la clôture, à l'inefficacité des barrières à sens unique et au manque de réponse des automobilistes aux signaux. Pour accroître la vigilance des conducteurs et limiter le nombre de cerfs prisonniers de l'emprise, Lehnert et Bissonette (1997) conseillent d'utiliser des bandes vibrantes et des panneaux lumineux déclenchés par le passage des cervidés, ainsi que de remplacer les portillons par des sauts à sens unique.

Selon Danielson et Hubbard, (1998), l'élimination complète des accidents avec un système de traverses est peu probable, mais ces traverses constituent cependant une solution moins coûteuse que les passages supérieurs ou inférieurs.

Coûts

En se basant sur les dépenses encourues pour l'achat du matériel et l'installation nécessaire à leur expérience, Lehnert et Bissonette (1997) ont estimé les coûts des traverses à 15 000 \$ et 28 000 \$ (US) pour une autoroute à 2 et à 4 voies respectivement, ce qui exclut les frais associés au clôturage de l'emprise et aux portillons à sens unique.

2.1.5. La chasse

La réduction du nombre de collisions avec les cervidés par des méthodes biologiques, telles la chasse, l'abattage, la relocalisation, la restauration de prédateurs ou le contrôle de la fertilité demeure une solution controversée et est souvent coûteuse (Reed et Ward, 1985 ; Peck et Stahl, 1997 ; Farrell, 2002).

La chasse a été recommandée par certains pour éliminer les populations surabondantes de cerfs que l'on trouve souvent en périphérie des villes ou dans les parcs et qui causent des dommages à la végétation et des risques accrus d'accidents routiers (Allen et McCullough, 1976, dans Danielson et Hubbard, 1998 ; DeNicola *et al.*, 1997 ; Peck et Stahl, 1997). Selon DeNicola *et al.* (1997), trois raisons principales expliquent la gestion déficiente du cerf dans les zones périurbaines, soit : le danger réel ou présumé de la chasse, les attitudes et les perceptions conflictuelles de la société envers la faune et l'interdiction d'utiliser des armes à feu. D'autres auteurs ont suggéré qu'une chasse réglementée pourrait réduire les populations de cervidés près des portions de routes où il y a des problèmes de sécurité liés aux collisions avec la grande faune et où des méthodes plus coûteuses ne seraient pas justifiées (Oosenbrug *et al.*, 1991 ; Belant, 1995).

La chasse a été utilisée en Illinois, au Michigan et en Iowa pour tenter de réduire le nombre de collisions routières avec des cerfs et cette technique aurait été jugée efficace par les autorités des deux derniers États

(Romin et Bissonette, 1996 ; W. Suchy, comm. pers., dans Danielson et Hubbard, 1998). Cependant, en Illinois, Waring *et al.* (1991) ont constaté que les collisions dans leur aire d'étude ne diminuaient pas, même si la population de cerfs déclinait.

Selon Reed et Ward (1985), si les taux de récolte sont suffisamment grands et que des individus des deux sexes sont prélevés, il est probable que la chasse puisse réduire une population de cervidés, et par conséquent la fréquence des accidents. Cependant, cette approche pose certains problèmes d'éthique et de gestion. D'abord les activités de chasse ont une grande valeur économique, et la réduction à grande échelle et à long terme du cheptel n'aurait pas l'appui du public. De plus, la détermination de la période et du lieu de la récolte des cervidés qui constituent un danger le long des autoroutes pose une difficulté, parce que les domaines vitaux changent selon les saisons et qu'il faudrait s'assurer que l'on réduit bien les hardes problématiques (Reed et Ward, 1985).

À Terre-Neuve, Oosenbrug *et al.* (1991) ont recommandé de considérer les risques d'accidents routiers dans la gestion des populations d'orignaux, basée jusqu'alors uniquement sur les principes de la récolte maximale soutenue. Ils ont conseillé qu'une chasse réglementée ayant pour but de réduire les collisions avec les orignaux s'applique sur les populations denses qu'on trouve aux abords des autoroutes. Ils ont proposé une chasse à l'orignal printanière (entre avril et juin) dans un corridor de 5 à 10 km dans les zones problématiques, le long des autoroutes principales. Selon eux, la chasse automnale habituelle ne serait pas très efficace, car les orignaux, particulièrement les jeunes d'un an qui se dispersent au printemps, auraient tôt fait de réoccuper ces bons habitats. Ces recommandations ne semblent cependant pas avoir été prises en compte par les autorités.

Dans les endroits où la chasse n'est pas permise, les gestionnaires pourraient encourager cette pratique dans les aires adjacentes afin de contrôler les populations. La chasse réglementée utilisée pour gérer les populations de cervidés devrait toutefois toujours être accompagnée de programmes de suivi (Coffey et Johnston, 1997). Enfin, les coûts associés à une chasse réglementée sont surtout de nature administrative, et Warren (1997), rapportant les chiffres avancés par différents auteurs, indique que dans le cas de la chasse aux cerfs, ceux-ci varient de 83 à 237 \$ (US) par animal.

2.1.6. La relocalisation des cervidés

Selon McNulty *et al.* (1997), il existe deux hypothèses concurrentes quant à l'effet d'un aménagement localisé des populations de cervidés. La première veut qu'une aire relativement petite où la densité est faible ne pourra persister longtemps, car les cerfs des territoires environnants se déplaceront et qu'un

équilibre finira par s'établir. Les déplacements fréquents des femelles dans les milieux agricoles fragmentés étayent cette théorie.

Selon l'autre hypothèse, la densité réduite va se maintenir parce que les cerfs dans les régions avoisinantes resteront fidèles à leur domaine vital et qu'ils ne répondront pas aux densités dans les zones adjacentes. La dispersion s'observe rarement chez les jeunes femelles, et les zones inhabitées ne seront pas repeuplées rapidement. Cette hypothèse semble appuyée par des études sur le comportement et la génétique des cerfs suggérant que les interactions entre les populations adjacentes sont limitées dans certains environnements (Elsworth *et al.*, 1994, dans McNulty *et al.*, 1997) et par la philopatrie observée dans les populations de cerfs de Virginie des régions forestières du nord (Kilpatrick *et al.*, 2001, dans Kilpatrick et Stober, 2002 ; Lesage, 2001).

McNulty *et al.* (1997) ont testé l'hypothèse selon laquelle le retrait d'un petit groupe localisé de cerfs de Virginie allait créer une zone où persisterait une faible densité de population. Ils ont retiré et relocalisé 14 membres d'un groupe social de 17 individus et suivi par télémétrie les déplacements des groupes de cerfs de zones adjacentes à la zone dépeuplée dans les deux années qui ont suivi. Le retrait du groupe-cible a créé une zone de faible densité d'environ 1,4 km². Après le retrait, aucun cerf des aires adjacentes n'a déplacé son domaine vital très près de l'aire de retrait, malgré la diminution de la densité de la population. Ces résultats suggèrent qu'un aménagement localisé est possible dans les parcs et les banlieues où le cerf a des effets indésirables.

Toujours selon ces auteurs, la création d'aménagements localisés ne demanderait pas une connaissance approfondie de la structure sociale ou du patron de déplacement des groupes de cerfs. Puisque les cerfs sont philopatriques à des domaines vitaux saisonniers, l'aménagement pourrait se concentrer sur une petite zone géographique plutôt que sur les composantes de la population. Dans les régions où les cerfs montrent une forte philopatrie, le retrait de moins de 25 cerfs d'un site particulier à un intervalle de quelques années pourrait avoir un meilleur ratio avantages-coûts et être plus acceptable socialement que le retrait annuel de centaines de cerfs sur une plus grande superficie (Connelly *et al.*, 1987, dans McNulty *et al.*, 1997).

La persistance de l'effet de la réduction peut cependant différer entre les milieux agricoles et forestiers, à cause du degré de développement de la philopatrie. L'environnement agricole pourrait fournir peu de sites de mise bas pour les jeunes femelles, ce qui les forcerait à se disperser. De plus, les forts taux de mortalité associés à une chasse annuelle intensive dans les régions agricoles pourraient empêcher le

développement d'une structure sociale comme on en observe dans les régions où les cerfs vivent plus longtemps (McNulty *et al.*, 1997).

Toutefois, même s'ils peuvent être efficaces, la capture et la relocalisation ne sont pas simples et, dans la plupart des cas, ils causent une mortalité élevée (DeNicola *et al.*, 1997 ; Peck et Stahl, 1997 ; Beringer *et al.*, 2002). O'Bryan et McCullough (1985) ont documenté un taux de mortalité de 85 % après un an pour des cerfs capturés et relocalisés en Californie, pour un coût moyen de 431 \$ (US) par animal. Les dépenses moyennes associées à d'autres programmes de ce genre ont varié de 387 \$ à 2 931 \$ (US) par cerf (DeNicola, 1997 ; Beringer *et al.*, 2002).

Les coûts et les impacts environnementaux associés à la capture vivante et la relocalisation rendent cette solution impraticable pour la gestion de grandes populations de cerfs. L'emploi de cette méthode pour la gestion de populations locales peut aussi être compliquée par le fait que les sites potentiels où relâcher les cerfs sont souvent rares, comme c'est le cas aux États-Unis où les problèmes de surpopulation sont répandus (Coffey et Johnston, 1997 ; Warren, 1997), et qu'il existe toujours un risque d'introduction de parasites ou de maladies (Beringer *et al.*, 2002).

2.1.7. La restauration des prédateurs

Dans l'est des États-Unis, aucun des principaux prédateurs actuels des cervidés, soient le coyote, le lynx et l'ours noir, n'est arrivé à contrôler les populations (Coffey et Johnston, 1997). Même si la restauration des populations de loups et de couguars pourrait être envisagée comme moyen de réduire le nombre de cervidés, des contraintes écologiques et sociales limitent la mise en œuvre de cette solution. En effet, elle n'est habituellement pas perçue comme une solution viable à cause des densités de population humaine, du manque d'habitats adéquats et des pratiques d'élevage du bétail (Coffey et Johnston, 1997 ; Warren, 1997).

2.1.8. Le contrôle de la fertilité

Le contrôle de la fertilité chez le cerf de Virginie est au stade expérimental et n'est disponible que pour la recherche (Coffey et Johnston, 1997 ; DeNicola *et al.*, 1997 ; Fagerstone et Clay, 1997 ; Peck et Stahl, 1997). Divers produits de stérilisation chimiques et des vaccins ont été testés. Aux États-Unis, le National Wildlife Research Center (NWRC) a été mis au point et teste depuis quelques années deux vaccins d'immunocontraception stimulant la production d'anticorps contre certaines protéines essentielles à la reproduction. Un des vaccins expérimenté (PZP) empêche la fertilisation de l'ovule alors que l'autre

(GnRh) induit une réponse immunitaire contre la gonadolibérine, une hormone essentielle à la libération des hormones sexuelles. Ces deux vaccins, injectés à un groupe de cerfs en captivité, sans dose de rappel, ont permis de rendre stériles la majorité d'entre eux pour une période de 1 à 3 ans. Le vaccin GnRh s'administre aux mâles comme aux femelles et inhibe les comportements sexuels, ce qui fait croire aux chercheurs qu'il pourrait être utilisé pour limiter les déplacements des cervidés près des portions de route où les risques d'accidents sont élevés pendant la période du rut (Miller et Killian, 2001 ; NWRC, 2002). Cependant, le grand désavantage de ces vaccins est qu'ils doivent être administrés par injection et ne peuvent donc être utilisés que lorsque les cerfs sont confinés. Le centre de recherche travaille donc à la mise au point des vaccins oraux (Fagerstone et Clay, 1997 ; NWRC, 2002). Les coûts associés à la vaccination d'une harde de cerfs semi-isolée ont été évalués à environ 1 100 \$ (US) par animal, la majorité de cette somme étant associée aux nombreuses manipulations (Peck et Stahl, 1997).

À la fin des années 1980, les gestionnaires des ressources d'un parc de l'Ohio aux prises avec un problème de surpopulation de cerfs de Virginie ont expérimenté, apparemment sans beaucoup de succès, l'injection à distance d'une drogue à base de prostaglandine (BovileneTM), habituellement utilisée pour retarder le cycle d'ovulation chez les bovidés. La drogue a été administrée 279 fois à l'intérieur d'une période de trois ans, mais la harde de cerfs a tout de même pratiquement doublé, passant de 190 à 347 individus (Peck et Stahl, 1997).

Les principales préoccupations entourant le contrôle de la fertilité sont les effets pharmacologiques sur les cervidés d'une exposition à long terme ainsi que les effets possibles sur les humains et les autres consommateurs dans la chaîne alimentaire. À l'heure actuelle, la contraception utilisée comme moyen de gestion des populations de cervidés entraînerait, dans la plupart des cas, des coûts prohibitifs (DeNicola *et al.*, 1997) et ne serait utilisable que pour de petites populations isolées sur des îles ou confinées par des clôtures (Coffey et Johnston, 1997).

2.1.9. L'abattage professionnel et l'euthanasie

L'abattage professionnel peut être utilisé lorsque les règlements ou la pression populaire excluent la possibilité de recourir à la chasse (DeNicola *et al.*, 1997 ; Warren, 1997). L'efficacité du programme d'abattage sera accrue si l'on privilégie les femelles (Stradtman *et al.*, 1995, dans Warren, 1997). Aux États-Unis, cette méthode de contrôle des populations a été utilisée de façon sécuritaire pour réduire les densités de cerfs près de plusieurs zones résidentielles et de parcs. Les coûts associés à ces programmes d'abattage pouvaient varier entre 72 \$ et 260 \$ (US) par cerf abattu (DeNicola *et al.*, 1997 ; Peck et Stahl, 1997 ; Warren, 1997).

Lorsqu'il n'est pas possible de recourir à la technique de l'abattage, comme c'est le cas dans certaines zones résidentielles, les cerfs peuvent être capturés et euthanasiés. Cette méthode ne permet cependant pas le retrait sélectif des femelles (Warren, 1997); elle est en outre plus coûteuse (DeNicola *et al.*, 1997) et est généralement considérée moins humaine que l'abattage à cause du stress qu'elle occasionne aux animaux (Schwartz *et al.*, 1997 dans Warren, 1997).

L'abattage est une technique parfois controversée (O'Bryan et McCullough, 1985), et il est par conséquent essentiel d'informer et de consulter le public pour favoriser l'acceptation de cette méthode de réduction des populations surabondantes de cervidés (Coffey et Johnston, 1997 ; DeNicola *et al.*, 1997 ; Peck et Stahl, 1997). Au New Hampshire, un programme d'abattage a été bien accueilli par le public parce qu'il répondait à ses principales préoccupations, soit l'aspect humanitaire et la sécurité (DeNicola *et al.*, 1997). Lorsqu'une méthode létale est employée pour limiter une population de cervidés, plusieurs auteurs signalent que pour favoriser son acceptation, on peut aussi distribuer la viande aux plus démunis là où les lois et règlements le permettent (DeNicola *et al.*, 1997 ; Peck et Stahl, 1997 ; Warren, 1997).

La décision de mettre en œuvre un programme d'abattage doit évidemment être basée sur des données scientifiques fiables sur la population visée. Il faut en outre établir des buts et des objectifs précis et élaborer un plan détaillé. Enfin, il faut s'assurer de respecter les lois environnementales et mettre en place un programme de suivi (Coffey et Johnston, 1997).

La chasse contrôlée est généralement préférée par les organismes qui gèrent la faune et est souvent le moyen le moins coûteux contrôler les populations de cerfs. Cependant, elle exige une grande supervision de la part de ces organismes et, dans certains cas, le recours à des chasseurs peut représenter des coûts équivalents ou supérieurs à ceux de l'abattage (De Nicola *et al.*, 1997).

Sans égards à la technique utilisée, la gestion des populations surabondantes dans les aires sensibles est relativement coûteuse comparativement aux programmes d'aménagement habituels. Cependant, ces méthodes non traditionnelles peuvent être utilisées pour compléter les méthodes habituelles afin d'atteindre les objectifs des organismes de gestion de la faune (De Nicola *et al.*, 1997).

2.2. Objectif : Modifier le comportement des animaux de manière à les dissuader de s'approcher de la route

Différents types de répulsifs utilisant la lumière, le son, les odeurs ou l'électricité ont été utilisés dans le contexte des accidents routiers. Pour être efficace dans ce contexte, le répulsif doit dissuader la majorité des animaux visés de traverser la route et avoir un effet prolongé.

2.2.10. Les clôtures électriques

La clôture électrique est à la fois une barrière physique et un moyen dissuasif qui modifie le comportement des animaux. L'animal curieux qui s'approche pour renifler cet obstacle bien visible reçoit une petite décharge électrique désagréable qui le conditionne à s'en tenir éloigné, même s'il serait facile de le franchir. La clôture électrique est utilisée efficacement depuis longtemps pour confiner du bétail ou des chevaux. Son expérimentation avec des ongulés sauvages est toutefois récente. Elle vise entre autres à réduire les dommages faits aux cultures ou aux plantations et à diminuer les risques de collisions routières avec les cervidés.

Le type de clôture électrique qui semble avoir été le plus testé avec les animaux sauvages est sans doute l'ElectroBraid™, construite en Nouvelle-Écosse. À notre connaissance, aucun article scientifique n'a encore été publié sur l'efficacité de cette clôture pour restreindre l'accès de cervidés à une zone particulière, mais plusieurs données provisoires sont cependant disponibles.

La clôture ElectroBraid™ est constituée de quatre ou cinq câbles, faits de fibres de polyester et de deux fils de cuivre torsadés, tendus entre de petits poteaux de fibre de verre. L'espacement entre les poteaux varie selon le terrain, mais se situe généralement aux environs de 10 m. Pour le cerf, le fabricant recommande la pose d'une clôture de 1,2 m de hauteur avec des brins espacés de 25 cm, et pour l'orignal, une hauteur de 1,5 m avec des brins espacés de 30 cm (ElectroBraid™ Fence Limited, 2000). La clôture peut être alimentée par une pile de 12 volts, ou encore être branchée à une source d'alimentation de 120 volts en utilisant un transformateur. Il est possible de la munir d'un système d'alarme qui se déclenche lorsque l'installation est endommagée. L'alimentation électrique de la clôture est alors interrompue, afin de ne pas stresser une bête qui serait prise dans les câbles. Le système est par ailleurs relié par téléphone à un poste de contrôle, de façon informer les responsables de l'entretien de la panne.

À Terre-Neuve, des chercheurs du département de la Faune et de la Foresterie ont expérimenté l'ElectroBraid™ pour décourager le passage d'une harde de caribous dans des champs cultivés. À la fin

d'avril, au début de la migration, la neige couvrait encore les deux câbles du bas de la clôture et en diminuait la charge. Près de 200 caribous parmi les 675 observés à cette période ont profité de la neige épaisse et du mauvais fonctionnement de la clôture pour la franchir sans problèmes. En mai, une fois la neige fondue, seulement trois des 551 caribous observés ont réussi à pénétrer dans les champs. En aucun temps la harde de caribous n'a été capable de briser la clôture, qu'elle ait été électrifiée ou non (Menchenton, 1999).

D'autres chercheurs du département de l'Agriculture ont testé l'efficacité de cette clôture pour limiter la présence d'originaux dans des cultures de choux. Des champs qui avaient subi des dommages considérables les années précédentes ont été clôturés. Même si des signes d'activité d'originaux étaient très visibles autour des clôtures, aucun dommage aux cultures n'a été enregistré pendant les deux années qu'a duré l'étude (Wicks, 2002).

En ce qui concerne le cerf de Virginie, des consultants du Michigan ont effectué des tests sur la clôture ElectroBraid™ en entourant des enclos appâtés avec des grains de maïs. La hauteur des clôtures et l'espacement entre les câbles variaient d'un test à l'autre. Les clôtures qui avaient un espace de plus de 45 cm entre les câbles ou entre le câble le plus bas et le sol n'empêchaient pas les cerfs de traverser. Lorsque les quatre premiers câbles ont été distancés de 22 cm, la clôture a été très efficace, peu importe que la hauteur du dernier fil soit à 1,2, 1,5 ou 1,8 m du sol. L'espacement entre les câbles semble donc être la caractéristique la plus importante de l'installation (Rogers et Premo, 2002). Une autre expérience utilisant des enclos d'alimentation artificielle, menée en Ohio par le National Wildlife Research Center, a montré qu'une clôture électrique de 1,3 m de hauteur avec des brins espacés de 25 cm permettait l'exclusion d'environ 99 % des cerfs. La caméra vidéo a montré que la seule exception a été une petite femelle qui a réussi à passer de façon répétée entre les câbles sans y toucher. D'autres tests sont prévus pour évaluer l'utilité d'ajouter des câbles afin de réduire l'espacement à 12 ou 15 cm (Anonyme, 2002a).

Des études portant plus spécifiquement sur l'efficacité de la clôture électrique le long des routes sont en cours. Au Nouveau-Brunswick, une clôture de 1,5 m de haut, comportant cinq câbles électriques, a été érigée à l'automne 2000 de chaque côté d'une section de 5 km d'autoroute où les risques de collisions avec les originaux étaient élevés. La clôture a été installée à la limite de l'emprise, de préférence à quelques mètres de la lisière de la forêt pour que les cervidés puissent bien la voir et la longer. Elle était ramenée près de la route lorsqu'il fallait traverser un ponceau. Des passages pour les motoneiges et les VTT ont été prévus dans le corridor clôturé, qui consistait en un genre de chicane donnant l'illusion d'une continuité dans la clôture. De petits réflecteurs jaunes ont été posés sur la clôture pour la rendre bien visible aux gens qui circulent tout près (Poulin, 2001d).

Ce projet, d'une durée prévue de trois ans, a la particularité d'impliquer la population, en sollicitant son aide pour signaler la présence d'orignaux dans le corridor à l'étude et dans deux zones témoins d'égale longueur situées aux extrémités (15 km au total). Des panneaux invitent les usagers de la route à faire part de leurs observations à un numéro de téléphone sans frais. Des bornes kilométriques ont aussi été installées afin de faciliter la localisation des animaux. Les informations recueillies sont la date et l'heure, l'endroit où se trouvent les orignaux observés et le nombre de bêtes (Poulin, 2001d).

Le personnel du département des Ressources naturelles et de l'Énergie est responsable des visites d'inspection hebdomadaires, de même que de la capture des orignaux qui pourraient se retrouver prisonniers entre les clôtures (Poulin, 2001d). Jusqu'à présent, plusieurs centaines d'observations d'orignaux ont été rapportées dans le secteur à l'étude, mais une seule concernait un animal se trouvant à l'intérieur de la clôture. Cet animal aurait profité d'une ouverture temporaire dans la clôture alors que la chicane d'un passage à motoneige et VTT avait été enlevée pour permettre le passage de machinerie. Une seule collision est survenue récemment, impliquant un jeune mâle dont la présence n'avait pas été rapportée par le public (M. Poulin, comm. pers.).

Au Québec, une expérience similaire vient d'être entreprise sur une portion de 5 km de la route 175, dans la réserve faunique des Laurentides. Une des particularités de l'étude est qu'un passage faunique a été prévu dans la portion clôturée, en aménageant un sentier d'environ un mètre de largeur sous le pont nouvellement construit. Dans cette région, il est également prévu qu'une portion de 10 km de la route 169 soit clôturée de la même manière en 2003. Enfin, une expérience est en cours dans une zone problématique de la route 165 à Saint-Ferdinand, dans le Centre-du-Québec, où une clôture électrique à deux brins a été juxtaposée à la clôture de non-accès de 1,2 m de hauteur déjà installée à la limite de l'emprise. Les deux brins électrifiés sont posés à environ 1,2 m et 1,5 m du sol, le plus près possible de la clôture métallique et du côté opposé à l'emprise. L'hypothèse étudiée est que les cerfs devraient renifler ce nouvel obstacle bien visible avant de tenter de le traverser et que le choc électrique reçu devrait les en dissuader. Si elle est efficace, cette clôture mixte aurait l'avantage d'être moins coûteuse à l'achat qu'une clôture électrique complète et ne nécessiterait pas de préparation de terrain autre que le dégagement de la végétation. De plus, elle pourrait être utilisée en hiver, puisque les brins devraient demeurer au-dessus de la neige pendant la majeure partie de cette période (M. Poulin, comm. pers.).

Les gens qui ont expérimenté la clôture électrique disent apprécier sa simplicité d'installation, sa résistance et sa résilience, de même que son faible coût comparativement à la clôture en treillis métallique (Poulin, 2001d ; Rogers et Premo, 2002 ; Wicks, 2002). L'achat et la pose d'une clôture ElectroBraid™

coûtent environ 15 000 \$ (CAN)/km, ce qui n'inclut pas les dépenses liées à la préparation du terrain (M. Poulin, comm. pers.). De plus, contrairement à la clôture en métal, la clôture électrique a un impact visuel moins important, ne risque pas de blesser les animaux qui tenteraient de la franchir et est perméable à la petite faune. Enfin, la faible hauteur de ce type de clôture donne la possibilité à des cervidés qui seraient poursuivis par un prédateur ou un humain de s'échapper facilement en sautant par dessus.

Les désavantages potentiels de la clôture électrique mentionnés dans la littérature se rapportent principalement aux coûts d'entretien (Skolving, 1985 ; Muller, 1998 ; Rosenberry *et al.*, 2001) et aux pannes possibles, qui risqueraient de mettre en danger les usagers de la route (Muller, 1998). Le problème de la sécurité du public en cas de mauvais fonctionnement des clôtures électriques ne devrait toutefois pas se poser si la clôture est munie d'un système d'alarme et que l'on s'assure d'une réponse rapide des personnes responsables de l'entretien. Quant aux coûts d'entretien d'une clôture électrique, ils sont surtout liés au contrôle de la végétation pour éviter des pertes de puissance. Le fabricant de la clôture ElectroBraid™ suggère une tonte annuelle. Divers moyens peuvent cependant être employés pour tenter de limiter la croissance de la végétation, et, dans le cadre de l'étude en cours au Québec, l'utilisation d'une membrane géotextile est expérimentée. En ce qui concerne les routes nouvellement aménagées, une attention particulière devrait également être portée à la revégétalisation de l'emprise (M. Poulin, comm. pers.).

2.2.11. Les répulsifs lumineux

2.2.11.1. Les réflecteurs

Parmi les répulsifs lumineux, le réflecteur est le dispositif le plus utilisé. Il a pour but de décourager le passage des cervidés sur la route en réfléchissant la lumière des phares de voitures dans les emprises afin de créer une barrière visuelle jusqu'à ce que le véhicule soit passé. Les systèmes les plus courants consistent en une série de réflecteurs montés sur des poteaux, installés à intervalles réguliers le long de la route (Farrell, 2002). Ainsi, contrairement aux clôtures, les réflecteurs entraveraient les mouvements des cervidés uniquement la nuit, lorsque des voitures passent sur la route (Putman, 1997).

Différents types de réflecteurs ont été testés depuis les années 1970, mais tous ont été conçus sur la prémisse que la réflexion de la lumière dans l'emprise des routes modifierait le comportement des cervidés et diminuerait ainsi le risque de collisions avec les véhicules (Ujvari *et al.*, 1998).

Les premiers réflecteurs apparus sur le marché consistaient en un simple miroir en métal poli ou en un miroir ordinaire rond qui réfléchissait directement la lumière incidente des phares (Skolving, 1985 ;

Ingebrigtsen et Ludwig, 1986 ; Danielson et Hubbard, 1998). Par la suite, des réflecteurs composés de deux surfaces en miroir recouvertes d'une lentille de plastique et posées à angle sur un support ont été mis au point. Les réflecteurs des marques Bosch, WEGU ou Swareflex, (maintenant appelés Strieter-Lite[®]), qui sont construits selon ce principe, visent à créer une sorte de barrière optique sensée décourager les cervidés de s'approcher. Les deux premiers types, très semblables, réfléchissent une lumière blanche. Quant aux réflecteurs Strieter-Lite[®], ils se distinguent par le fait que des lentilles de plastique colorées recouvrent les miroirs. Les lentilles rouges ont été jusqu'à maintenant les plus populaires, car selon les concepteurs, cette couleur aurait la propriété d'effrayer les cervidés.

Les miroirs et les réflecteurs Swareflex ont été proposés comme moyens plus économiques que les clôtures et les passages pour réduire le nombre de collisions avec les cervidés. Selon l'entreprise Strieter Corporation, l'achat des réflecteurs coûte entre 1700 et 2200 \$ (US) par km de route. Il faut ajouter à ce montant les dépenses liées à l'achat des poteaux et à l'installation, qui varient de 3 700 à 5 600 \$ (US)/km (Strieter Corporation, 2002). Dans la littérature, les coûts totaux rapportés varient de 3 500 à 7 000 \$ (US)/km (Mah, 1989 ; Ford et Villa, 1993 ; Hildebrand et Hodgson, 1995 ; Sielecki, 2001). Les coûts d'entretien sont bas, estimés à environ 300 \$ (US) par année (Hildebrand et Hodgson, 1995 ; Strieter Corporation, 2002), mais les frais liés au vandalisme peuvent être élevés (Hildebrand et Hodgson, 1995). Aux États-Unis, la pose de réflecteurs est admissible presque en totalité à des subventions publiques (Anonyme, 1997).

Plusieurs études ont été entreprises pour évaluer l'efficacité des miroirs et des réflecteurs, mais il n'y a toujours pas de consensus sur leur efficacité. Les miroirs ont été très utilisés en Suède entre les années 1960 et le début des années 1980, jusqu'au moment où une première expérimentation rigoureuse sur un grand nombre de sites testés et témoins pendant une période de trois ans ait démontré que ces dispositifs n'avaient pas d'effet sur le daim et l'orignal (Almkvist *et al.*, 1980, dans Lavsund et Sandegren, 1991 ; Skolving, 1985). Aux États-Unis, Gilbert (1982, dans Anonyme, 1997) a noté que les miroirs étaient inefficaces pour réduire les collisions avec les cerfs dans le Maine, alors qu'une étude de cinq ans est arrivée au même constat au Minnesota (Chesness, 1973, dans Ingebrigtsen et Ludwig, 1986). Danielson et Hubbard (1998) rapportent, pour leur part, deux expériences réalisées à la fin des années 1960 au Michigan et en Californie, qui ont montré que des miroirs ronds ordinaires avaient réduit le nombre d'accidents pendant un an seulement, celui-ci étant revenu au seuil prétraitement dès la deuxième année.

En ce qui concerne les réflecteurs WEGU, une expérience a été menée au Danemark pour vérifier leurs effets sur des daims sauvages (Ujvari *et al.*, 1998). Le comportement des daims présents dans une aire d'alimentation artificielle a été observé alors que des réflecteurs étaient illuminés de façon intermittente

par une source semblable aux phares des voitures. Cette expérience permettait d'éliminer certains facteurs comme le bruit et l'éclairage des véhicules. Les résultats ont révélé que, d'une part, les daims semblaient s'habituer avec le temps aux stimuli répétitifs et que, d'autre part, ils réagissaient plus lorsque la stimulation avait été interrompue pendant plus d'une nuit.

Les réflecteurs Swareflex sont les dispositifs qui ont fait l'objet du plus grand nombre d'études. Groot Bruinderinck et Hazebroek (1996) rapportent que des études réalisées en Europe sont arrivées à la conclusion que ces réflecteurs ne diminuaient pas la mortalité chez le daim, le chevreuil, le cerf rouge et l'orignal. Plusieurs recherches ont aussi été menées aux Etats-Unis, et les réflecteurs Swareflex auraient eu du succès en Iowa (Gladfelter, 1984, dans Farrell, 2002), à Washington (Schafer et Penland, 1985 ; Ossinger, 1992, dans Anonyme, 1997) et au Minnesota (Ingebrigtsen et Ludwig, 1986). Ils ont cependant été jugés inefficaces au Colorado (Woodard *et al.* 1973, dans Romin et Bissonette, 1996 ; Woodham, 1991), en Illinois (Waring *et al.*, 1991), en Californie (Ford et Villa, 1993) et au Wyoming (Reeve et Anderson, 1993).

Des résultats contradictoires ont aussi été obtenus au Canada. En Colombie-Britannique, on installe des réflecteurs depuis la fin des années 1980. Deux études menées sur 15 ans n'ont toutefois pas permis de montrer de différences significatives entre les zones avec réflecteurs et les zones témoins, situées en amont et en aval (Sielecki, 2001 ; G. Gilfillan, comm. pers.). En Alberta, une étude de trois ans portant sur les réflecteurs Swareflex et Bosch a montré que la mortalité des cerfs dans les zones testées avait diminué, mais cette baisse ne pouvait toutefois être attribuée spécifiquement aux réflecteurs (Mah, 1989). En Ontario, Armstrong (1992), tout comme Hester (1991) qu'il cite, n'ont pas noté de réactions significatives chez les cerfs lorsque des réflecteurs étaient en fonction. L'observation la plus révélatrice qui ressort de son étude est que les cerfs ne levaient la tête que lorsque les véhicules passaient et non pas au moment où les réflecteurs devenaient illuminés, ce qui laisse croire que les cerfs répondaient davantage à l'augmentation de l'intensité du son et de la lumière des véhicules qui approchaient qu'aux réflecteurs. Au Nouveau-Brunswick, la comparaison entre les statistiques sur les d'accidents avant la pose de réflecteurs dans des sections de route problématiques et les données recueillies pendant les quatre années qui ont suivi semblaient démontrer l'efficacité des réflecteurs pour réduire les collisions avec les cerfs. Cependant, lorsque les données ont été comparées aux zones témoins, les résultats n'étaient plus concluants (Hildebrand et Hodgson, 1995). Au Québec, la Direction de l'Estrée du ministère des Transports a entrepris en 2001 une évaluation de réflecteurs Swareflex sur une section de un kilomètre de la route 212. Parallèlement à ce test, d'une durée prévue de trois ans, une analyse spectrométrique des réflecteurs a été commandée à l'Université de Sherbrooke. Les résultats de cette étude ont révélé un rendement optique bien inférieur aux performances annoncées par le manufacturier, et c'est pourquoi la

Direction de l'Estrie a finalement décidé de ne pas inclure cet équipement dans sa stratégie de réduction du nombre de collisions avec la grande faune (Gagné, 2002).

Les divergences observées entre les résultats de toutes ces études peuvent être dues à plusieurs facteurs. Comme il vient d'être mentionné, certains ont mis en doute l'efficacité même des réflecteurs pour réfléchir adéquatement la lumière. En effet, trois analyses spectrométriques et photométriques effectuées sur des réflecteurs Swareflex et Strieter-Lite[®] de différentes couleurs ont révélé que l'intensité de la lumière colorée réfléchie est très faible et mesurable seulement sur une courte distance (Woodham, 1991 ; Sielecki, 2001 ; Théorêt *et al.*, 2002). Il a aussi été démontré que la surface externe des lentilles des deux types de réflecteurs produit une lumière blanche pouvant être jusqu'à plusieurs centaines de fois plus intense que la lumière colorée provenant des lentilles à l'intérieur du réflecteur (Sielecki, 2001). La faible intensité lumineuse a aussi été considérée comme un facteur de réduction de l'efficacité des réflecteurs WEGU par Ujvari *et al.* (1998).

D'autres scientifiques ont également soulevé des doutes quand à l'hypothèse sur laquelle est fondée le principe des réflecteurs Swareflex, soit que les cerfs vont instinctivement éviter ou modifier leur comportement devant la lumière rouge produite par les réflecteurs (Reed et Ward, 1985 ; Zacks, 1985 ; Waring *et al.*, 1991). Zacks (1985), qui n'a observé aucun effet des réflecteurs sur des cerfs en enclos, a suggéré que les différences d'efficacité observées d'une étude à l'autre pourraient être attribuables à l'effet qu'ont ces dispositifs sur les automobilistes plutôt que sur la faune. Ainsi, même si le fabricant affirme que la lumière réfléchie par des réflecteurs bien installés n'est pas visible par les automobilistes, Zacks (1985) a observé le contraire et émet l'hypothèse que ces derniers sont plus vigilants à la vue d'un corridor de réflecteurs rouges. Il conclut qu'il est difficile de savoir si les différents tests ont modifié le comportement des cerfs ou celui des automobilistes.

Enfin, comme il a été mentionné auparavant, certains chercheurs croient que, même si la lumière réfléchie par les réflecteurs provoque une réaction chez les cervidés, une habitude peut se créer au bout d'un certain temps, surtout dans les zones où le trafic est intense et les stimuli fréquents (Waring *et al.*, 1991 ; Putman, 1997 ; Ujvari *et al.*, 1998). Ujvari *et al.* (1998) ont remarqué que les cerfs semblaient réagir davantage aux signaux lumineux après que la stimulation avait été interrompue pendant un certain temps, ce qui leur a fait croire que ce phénomène pouvait intervenir dans les expériences où les réflecteurs sont couverts et découverts à intervalles réguliers, comme celle de Schafer et Penland (1985).

Si la plupart des études sur les réflecteurs ne peuvent tirer de conclusions formelles sur l'efficacité du dispositif, c'est toutefois habituellement dû à un design expérimental inadéquat, qui limite l'analyse

statistique (Reed et Ward, 1985 ; Ingebrigtsen et Ludwig, 1986 ; Mah, 1989 ; Hildebrand et Hodgson, 1995 ; Romin et Bissonette, 1996 ; Danielson et Hubbard, 1998). Ainsi, la majorité des tests effectués sur les réflecteurs n'incluaient pas de zones témoins, utilisaient un petit nombre d'échantillons et comparaient simplement le nombre d'accidents avant et après l'installation des réflecteurs, ce qui ne permet pas de considérer toutes les variables en cause. En effet, plusieurs variations annuelles peuvent influencer le taux d'accidents, comme la densité de la population de cervidés, les patrons de migration, le volume du trafic ou les précipitations de neige (Hildebrand et Hodgson, 1995 ; Sielecki, 2001 ; Mah, 1989).

L'analyse des résultats est aussi également compliquée par le fait que les zones étudiées sont souvent courtes ou peu nombreuses à cause de contraintes budgétaires, et que le nombre d'accidents enregistrés avant et après l'installation est par conséquent faible (Romin et Bissonette, 1996 ; Sielecki, 2001). Enfin, beaucoup de tests étant réalisés sur des sections de moins de 2 km, il est difficile d'évaluer l'efficacité de telles installations, qui laissent traverser les animaux à chaque extrémité et qui rendent la détermination du lieu de l'accident peu précise (Sielecki, 2001).

Malgré le fait que ces lacunes expérimentales soient connues, des études non rigoureuses continuent d'être faites, comme celle commandée par l'entreprise qui distribue les réflecteurs Strieter-Lite®, où l'on fait l'analyse globale avant-après de 53 sites testés en divers endroits en Amérique du Nord, de différentes longueurs et évalués sur des périodes variant de quelques mois à plusieurs années (Grenier, 2002). Après avoir groupé tous les sites qui, *a priori*, avaient montré une baisse avant-après dans 98 % des cas, l'auteur de l'étude conclut que les réflecteurs réduisent de 78 à 90 % les risques de collisions avec les cervidés.

Une recherche rigoureuse à long terme et à grande échelle serait nécessaire pour évaluer hors de tout doute l'efficacité des réflecteurs. Une telle étude serait cependant coûteuse, car il faudrait déterminer toutes les variables impliquées (Ford et Villa, 1993).

2.2.11.2. Les autres répulsifs lumineux

D'autres systèmes utilisant des stimuli lumineux, comme des faisceaux de lumière intermittente, ont été testés par les européens pour faire fuir les orignaux sans succès, car ceux-ci n'y prêtaient pas attention (Skolving, 1985 ; Lavsund et Sandegren, 1991).

2.2.12. Les répulsifs chimiques

Jusqu'à présent, les répulsifs chimiques ont été expérimentés principalement pour réduire les dommages causés à la végétation par les cervidés. Certains produits se sont montrés efficaces, surtout s'ils étaient

appliqués directement sur la végétation et qu'une autre source de nourriture était disponible à proximité (Nolte, 1998 ; Wagner et Nolte, 2001). Seulement quelques études se sont intéressées à l'application de répulsifs chimiques en bordure des routes.

Les ingrédients actifs des nombreux répulsifs chimiques qu'on trouve sur le marché se divisent en quatre catégories, selon la façon dont ils agissent. Il y a d'abord ceux qui émettent des odeurs sulfureuses simulant l'urine des prédateurs ou la décomposition animale, et qui provoquent la peur. D'autres produits rendent l'animal malade, ce qui cause une aversion pour les végétaux traités. Certains répulsifs causent de la douleur ou de l'irritation au contact des muqueuses et, enfin, certains produits utilisent des composés amers pour décourager le broutage par les cerfs (Wagner et Nolte, 2001). Dans une étude exhaustive de 20 répulsifs répartis entre ces quatre catégories, Wagner et Nolte (2001) ont découvert que l'efficacité des produits est très variable et qu'aucune catégorie n'a eu un succès uniforme pour limiter le broutage de jeunes plants de résineux. Ils ont toutefois remarqué que les répulsifs utilisant les odeurs sulfureuses avaient le plus grand potentiel, particulièrement ceux qui contenaient des protéines animales en décomposition.

Pour protéger de plus grandes surfaces et pour restreindre la présence des cervidés le long des routes, il faudrait pouvoir créer une barrière chimique (Nolte, Shipley et Wagner, 2001). En Allemagne, on a tenté de créer de telles barrières en pulvérisant le long des routes des composés chimiques répulsifs micro-encapsulés dans une mousse organique qui se décompose pendant le jour en relâchant les composés (Putman, 1997). Ces barrières n'ont pas été testées adéquatement et il n'est pas possible de savoir si elles ont réduit le nombre de collisions avec les cervidés (Putman, 1997). D'autres essais, réalisés en Suisse, en Suède et aux États-Unis avec divers produits olfactifs, ont montré l'inefficacité de ces mesures pour créer des obstacles aux déplacements des animaux (Lavsund et Sandegren, 1991 ; Belant *et al.*, 1998b ; Muller, 1998).

Le produit Wolfin, une urine de loup synthétique qu'on trouve sur le marché (Pro Cell Biotenik, Hornefors, Suède), a été testé dans le cadre de quelques études. Le produit est contenu dans des capsules en plastique qui diffusent lentement l'odeur de l'urine. Le fabricant recommande d'attacher les capsules à des poteaux ou à des arbres à 1,5 m du sol et de les distancer de 10 m autour de l'aire à protéger.

Même si la publicité du fabricant fait état d'études non publiées selon lesquelles le Wolfin aurait réduit le nombre de traversées d'ongulés sur certaines autoroutes en Suède, la littérature publiée est plus nuancée. Le produit semble avoir diminué de 25 à 30 % le nombre de collisions avec les cervidés selon

une étude suédoise (Johansson, 1994 dans Nolte, Shipley et Wagner, 2001), alors qu'il n'a pas eu d'effet selon des études réalisées en Amérique (Jolicoeur, Lemay et Gagnon, 1996 ; Joyce et Mahoney, 2001 ; Nolte, Shipley et Wagner, 2001).

En Ontario, Fraser et Hristienko (1982) ont cependant démontré que des substances putrescentes (œufs pourris et fumier de vache) et certains composés volatiles (l'acide isobutyrique et le créosote) étaient efficaces pour éloigner les orignaux des mares salines.

Ainsi, l'efficacité de divers répulsifs odoriférants est très variable et pourrait être limitée à des endroits, des plantes et des conditions spécifiques (Coffey et Johnston, 1997). De plus, leur utilité à long terme est remise en question par plusieurs chercheurs, parce que ces substances tendent à se dégrader avec le temps et nécessitent donc un entretien coûteux (Fraser et Hristienko, 1982 ; Lavsund et Sandegren, 1991 ; Bank *et al.*, 2002). Toutefois, pour solutionner le problème d'entretien dû à la dégradation du répulsif imitant l'odeur de prédateurs, apparemment efficace, la Colombie-Britannique est en train de mettre au point un système de diffusion automatique, qui devrait être testé à l'été 2003 (G. Gilfillan, comm. pers.).

2.2.13. Les répulsifs sonores

2.2.13.1. Les sifflets à ultrasons

Les répulsifs sonores peuvent être stationnaires, mais les plus communs sont les sifflets à ultrasons fixés aux véhicules (Romin et Dalton, 1992). Ces sifflets produisent, électriquement ou par le mouvement de l'air, des sons dont la fréquence varie entre 16 et 26 KHz (Skolving, 1985 ; International Resources inc., 2002 ; Shu roo, 2002). Ces sons sont censés avertir les animaux de l'approche des véhicules et les effrayer. Malheureusement, les succès dont se vantent les entreprises qui vendent ces sifflets sont surtout anecdotiques. Dans une étude rigoureuse réalisée en Utah, Romin et Dalton (1992) ont constaté que un effet de deux marques populaires de sifflets à ultrasons n'avaient aucun effet sur le comportement de cerfs muets à proximité d'une route, et ils doutaient même que les cerfs les entendent (Romin et Dalton, 1992).

En Europe, des tests sur divers appareils utilisant des fréquences de 10, 12 et 20 KHz, toutes audibles pour le cerf rouge et le chevreuil, n'ont jamais provoqué de réaction de fuite de la part de ces cervidés (Schober et Sommer, 1984, dans Groot Bruinderinck et Hazebroek, 1996). D'autres chercheurs européens ont expérimenté sur l'orignal des stimuli sonores de 70 dB, avec des fréquences allant jusqu'à 50 KHz. Ils ont remarqué que les orignaux ne réagissaient pas à des fréquences dépassant 21 KHz et qu'ils s'habituèrent rapidement aux fréquences plus basses (Lavsund et Sandegren, 1991).

2.2.13.2. Les systèmes stationnaires

Des systèmes de répulsion sonore stationnaires sont aussi parfois employés pour tenter d'éloigner les cervidés de certaines zones, tel que des champs ou des aéroports. Ces systèmes sont de type variés et peuvent produire des sons, ultrasoniques ou non, de manière électronique, à l'aide de canons à gaz, de pétards ou autres (Katona *et al.*, 2000). Ils peuvent être déclenchés à intervalles réguliers ou par le mouvement des cervidés.

Une étude sur les systèmes à explosion au propane a montré que ceux déclenchés par les mouvements des cerfs pouvaient effrayer ceux-ci pour une période allant jusqu'à six semaines, alors que ceux activés à intervalles réguliers n'étaient efficaces que pendant deux jours (Belant *et al.*, 1996 dans Belant *et al.*, 1998c). D'autres répulsifs à ultrasons déclenchés par le mouvement ont été testés et n'ont pas réussi à éloigner des cerfs d'une aire d'alimentation privilégiée pendant plus d'une semaine (Belant *et al.*, 1998c). Plusieurs auteurs croient que le fait qu'il n'y ait pas de stimuli négatifs associés aux sons émis par les dispositifs permet aux cervidés de s'habituer rapidement au bruit, comme ils le font dans certains cas le long des autoroutes (Reed et Ward, 1985) ou sur les pistes d'aéroport (Katona *et al.*, 2000) .

Bomford et O'Brien (1990), dans une revue exhaustive des moyens sonores dissuasifs pouvant être utilisés en gestion des dommages par la faune font aussi état de preuves d'habitation aux répulsifs sonores en cas d'une exposition prolongée ou fréquente. Ils mentionnent que seuls les appareils qui produisent des sons de détresse ou d'alerte de l'espèce visée pourraient avoir un effet un peu plus persistant sur l'utilisation de l'espace par les animaux et sur leur consommation de nourriture. Cette technique n'a cependant pas été testée avec des mammifères terrestres, mis à part des rats domestiques et une espèce de chauve-souris (Bomford et O'Brien, 1990).

2.2.14. L'effarouchage

L'effarouchage des cervidés n'est pas une pratique légale partout et, lorsqu'elle l'est, elle nécessite souvent un permis spécial. Cette technique de conditionnement par aversion est fondée sur l'hypothèse qu'un animal qui craint un stimulus va apprendre à ses descendants à le craindre aussi (Jackson, 2002). L'effarouchage peut se faire à l'aide d'un groupe de personnes qui se déplacent vers les animaux en faisant le plus de bruit possible, mais elle implique le plus souvent l'utilisation de fusils ou de pistolets à pièces pyrotechniques. L'efficacité de la technique du fusil est fréquemment renforcée par l'abattage de quelques individus, ce qui accroît la peur car les cervidés chassés sont plus sensibles au son des armes à feu (Katona *et al.*, 2000). Selon ces auteurs, les fusils et pistolets à pièces pyrotechniques sont plus efficaces que les répulsifs sonores stationnaires, à cause de leur portabilité et de leur flexibilité. Ils ne

recommandent cependant pas cette méthode pour les aéroports, car elle n'est pas jugée sécuritaire près des pistes de décollage.

Les avions ou les hélicoptères sont aussi parfois employés pour effaroucher les cervidés, mais cette technique est coûteuse et a une efficacité de courte durée (de Calesta et Witmer, 1994 ; Katona *et al.*, 2000). Enfin, une autre solution est le recours à des chiens de berger dressés pour poursuivre la faune indésirable (Woodruff et Green, 1995 ; Jackson, 2002). En Colombie-Britannique, où le harcèlement de la faune est interdit, des études sont présentement en cours pour tester l'effarouchage. Le ministère de l'Environnement teste une clôture invisible où l'on se sert de chiens dressés spécialement pour protéger les vergers et les vignobles des dommages causés par les cervidés. Les chiens sont munis d'un collier qui produit un petit choc électrique dès qu'ils arrivent aux limites de la propriété, ce qui évite que les cervidés soient pourchassés en dehors de celle-ci (British Columbia ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 2002). Une autre expérience qui se déroule à Banff, vise à conditionner la grande faune à éviter la ville et les campings en utilisant des humains ou des chiens de berger pour l'effaroucher (Jackson, 2002).

À part cela, peu d'études scientifiques semblent avoir été faites pour évaluer l'efficacité de l'effarouchage (Romin et Bissonette, 1996). La plupart des techniques sont utilisées sur des terres agricoles ou à proximité de parcs et semblent difficilement applicables en contexte routier, pour des raisons de faisabilité et de sécurité.

2.2.15. Le dégagement et le contrôle de la végétation sur le bord des routes

Le dégagement de la végétation le long des routes a été suggéré par différents auteurs comme moyen de réduire l'attrait de l'emprise pour les ongulés et d'augmenter la visibilité des conducteurs (Pojar, 1971, dans Reed et Ward, 1985 ; Lavsund et Sandegren, 1991 ; Oosenbrug *et al.*, 1991). Les études qui ont testé ces hypothèses sont toutefois peu nombreuses.

Au Québec, une étude récente a évalué, pour les autoroutes construites selon les normes actuelles, la hauteur maximale que devrait avoir la végétation de l'emprise afin d'offrir aux automobilistes une distance de visibilité à l'arrêt adéquate lorsqu'un cervidé se trouve le long de la route. Il a ainsi été déterminé que dans les régions où le cerf de Virginie est en cause dans des accidents routiers, la végétation de l'emprise ne devrait pas avoir une hauteur supérieure à 52 cm. Dans les régions où seul l'orignal est en cause, celle-ci ne devrait pas dépasser 101 cm (Sansregret et Auger, 2002). Ces valeurs pourront être prises en compte au moment de la revégétalisation des emprises des routes nouvellement construites et de l'entretien subséquent, s'il est nécessaire.

En Suède, des sections de routes où la végétation avait été contrôlée ou non ont été étudiées pendant trois ans. Les arbustes et les branches à moins de 3 m du sol ont été coupés manuellement dans une bande de 20 m à partir de la route. L'expérimentation a montré une réduction du nombre d'accidents d'environ 20 %, mais ce résultat était très près de ce qui aurait pu être obtenu seulement par hasard (Johansson, 1987, dans Lavsund et Sandegren, 1991). Dans le cas de corridors de chemin de fer, Jaren *et al.* (1991, dans Farrell, 2002) ont découvert que l'application de glyphosate (Roundup) dans une section de 20 à 30 m de chaque côté de la voie avait réduit de 56 % le nombre de collisions entre les trains et les orignaux.

Le dégagement de la végétation est une méthode considérée comme plutôt coûteuse, car elle nécessite habituellement un entretien fréquent (Lavsund et Sandegren, 1991 ; MIWGWMVC, 2001). En effet, la végétation de début de succession qui repousse dans les emprises dégagées peut attirer les cervidés et accroître les risques d'accidents, particulièrement au printemps (Puglisi *et al.*, 1974 ; Case, 1978 ; Feldhamer *et al.*, 1986 ; Child *et al.*, 1991 ; Lavsund et Sandegren, 1991 ; Waring *et al.*, 1991).

Pour rendre les emprises moins attirantes pour les cervidés, plusieurs auteurs suggèrent d'éviter de planter des végétaux qui pourraient constituer un brout ou un couvert de protection intéressants (Leedy et Adams, 1982 ; Miller, 1985 ; Muller, 1998). Aussi, des plantes qui semblent avoir peu de valeur comme nourriture pour les ongulés, comme le chiendent nordique (*Elymus lanceolatus*), pourraient remplacer des espèces semblables plus recherchées (Leedy et Adams, 1982 ; Miller, 1985 ; MIWGWMVC, 2001).

Toutefois, les plantes peu appétentes peuvent tout de même être consommées par les ongulés si les végétaux habituellement recherchés sont rares, et Miller (1985) souligne donc l'importance d'offrir en plus une source de nourriture attrayante à une certaine distance de la route. Cette mesure sera détaillée au point suivant. Une autre difficulté vient du fait que la plantation d'espèces dissuasives pourrait n'avoir un effet qu'à court terme, car l'emprise sera éventuellement envahie par la succession naturelle (Reed et Ward, 1985). Selon Svoboda (1974, dans Leedy et Adams, 1982), ces limitations sont probablement responsables en partie du fait que les tentatives d'établissement de communautés végétales peu attirantes pour les cervidés n'ont pas toujours été un succès.

Les modifications de l'habitat visant à diminuer l'attrait des bords de route pour les cervidés, comme le dégagement de la végétation et les plantations dissuasives, peuvent également entrer en conflit avec certains objectifs poursuivis par l'aménagement paysager des corridors routiers (Miller, 1985). En effet, les végétauxensemencés ou plantés sur le bord des routes n'ont pas qu'une fonction ornementale et ils sont souvent sélectionnés pour d'autres caractéristiques, comme leur capacité à limiter l'érosion ou encore

leur rapidité à constituer une haie pouvant servir à réduire la poudrerie ou empêcher l'éblouissement dans les courbes.

La manipulation de l'habitat demeure pour certains une solution méconnue, qui mériterait d'être explorée. On craint toutefois que la diminution de la qualité de l'habitat dans un endroit à risque pourrait déplacer simplement le problème ailleurs et que la modification des corridors privilégiés n'empêche pas les traversées aléatoires (MIWGWMVC, 2001).

2.2.16. L'alimentation artificielle et l'amélioration de l'habitat à distance des routes

En certains endroits, le manque de brout de qualité dans les forêts qui longent les routes incite les cervidés à utiliser l'emprise comme site d'alimentation (Carbaugh *et al.*, 1975 ; Feldhamer *et al.*, 1986 ; Waring *et al.*, 1991). Au Manitoba, on a toutefois réussi à modifier le patron de déplacement des cerfs pour les tenir éloignés des routes, en leur fournissant une source de nourriture plus attirante que celle qu'ils trouvaient dans l'emprise (Goulden, 1985, rapport non publié, dans Wood et Wolfe, 1988). Cette technique a aussi été utilisée en Alberta pour tenter de limiter la présence de wapitis le long d'une route très fréquentée pendant les Jeux olympiques d'hiver. Dans ce cas, on a observé que les wapitis se déplaçaient d'une station d'alimentation à l'autre, et on croit que l'emplacement de ces dernières de chaque côté de la route pourrait avoir favorisé l'augmentation du nombre de traversées. De plus, on a aussi remarqué qu'un cougar avait appris à visiter les stations et qu'il aurait tué au moins deux wapitis. Malgré tout, le nombre de wapitis observés par les agents de la faune le long des routes était négativement corrélé à la quantité de nourriture consommée. L'efficacité apparente de la technique a été attribuée à une combinaison de diverses méthodes, comme des panneaux de signalisation, l'évitement du sel de déglacage et les patrouilles continues des agents de la faune (Hornbeck, 1990, dans Foster et Humphrey, 1992).

Enfin, en Utah, Wood et Wolfe (1988) ont montré qu'une alimentation artificielle éloignée des routes pouvait être efficace pour réduire les collisions avec le cerf mulet, du moins dans des conditions hivernales et lorsque les populations sont importantes. Ils ont même suggéré que cette méthode pourrait éliminer, à court terme, jusqu'à 50 % des accidents. Ils ne la recommandent cependant pas pour une réduction à long terme des collisions car l'alimentation artificielle exige beaucoup de temps, qu'elle peut créer une dépendance chez les cervidés et même faire augmenter les populations.

D'autres mesures peuvent être envisagées pour améliorer l'habitat des cervidés à distance des routes, mais elles ne semblent pas avoir été étudiées dans le contexte des accidents avec la faune. Ainsi, en milieu agricole, des champs sont parfois ensemencés avec des espèces préférées par les cerfs dans le but de tenir

ces derniers éloignés de cultures où l'on désire limiter les dommages. En milieu forestier, des secteurs pourraient aussi être aménagés de manière à fournir une nourriture abondante aux cervidés à une certaine distance des routes. Ces méthodes sont toutefois susceptibles d'occasionner les mêmes problèmes que l'alimentation artificielle (Craven et Hygnstrom, 1994).

2.2.17. Les solutions de rechange au sel de déglacage

De grandes quantités de sel de déglacage, généralement du chlorure de sodium (NaCl), sont utilisées pour rendre les routes sécuritaires en hiver. Ce produit est actuellement le déglacant le plus populaire à cause de son efficacité, de son faible coût et de sa facilité d'entreposage et d'application.

Selon une étude suédoise, 20 à 63 % de ce sel est transporté par l'air et est déposé principalement dans les 20 premiers mètres qui bordent la route (Blomqvist et Johansson, 1999). À la fonte des neiges, le sel est lessivé et se concentre dans des zones mal drainées pour former des mares salines. Ces mares constituent une source accessible et attrayante de sodium pour les cervidés, surtout lorsqu'il n'y a pas ou peu de salines naturelles (Fraser et Thomas, 1982 ; Jolicoeur, 1985 ; Jones *et al.*, 1986 ; Groot Bruinderinck et Hazebroek, 1996). Dans les régions nordiques, plusieurs auteurs ont associé les accidents routiers impliquant des cervidés à la présence de ces mares en bordure des routes (Leopold, 1933, dans Farrell, 2002 ; Grenier, 1974 ; Jolicoeur, 1985 ; Fraser et Thomas, 1982 ; Feldhamer *et al.*, 1986 ; Jones *et al.*, 1986).

Hormis la création de mares salines, l'utilisation de NaCl a le désavantage d'être corrosif pour les véhicules et les infrastructures et dommageable pour l'environnement (Anonyme, 1991). Pour contrer ces problèmes, des recherches ont été faites pour trouver des produits de remplacement au sel de déglacage.

Le sable est un des abrasifs qui ont été considérés, mais plusieurs inconvénients limitent son utilisation. En effet, ce produit peut constituer un danger pour les automobilistes sur des surfaces sèches, occasionner le blocage de drains, endommager la machinerie, créer de la sédimentation dans les cours d'eau et causer des problèmes de poussière. De plus, les coûts liés au nettoyage printanier sont élevés (Anonyme, 1990 ; D'Itri, 1992).

Parmi la panoplie de fondants chimiques qui ont de l'efficacité, on trouve le chlorure de calcium (CaCl) et l'acétate de magnésium et de calcium (AMC). Le CaCl est plus efficace que le sel à basse température, et il est parfois ajouté à ce dernier en faible proportion (2 à 4 %) lorsqu'il fait très froid. Ce produit n'est pas utilisé seul, parce qu'il est six fois plus coûteux que le sel, qu'il est plus corrosif et qu'il a des impacts environnementaux semblables (Anonyme, 1999).

L'acétate de magnésium et de calcium (AMC) est le produit de remplacement le plus prometteur. Il a l'avantage de ne pas attirer les animaux car il a un goût de vinaigre, et il a d'ailleurs été utilisé en Scandinavie pour réduire le nombre d'accidents routiers avec les cervidés (Groot Bruinderinck et Hazebroek, 1996 ; Anonyme, 1999). L'emploi de l'AMC, dérivé du gaz naturel, est cependant limité principalement par son coût de 600 à 700 \$ (US) la tonne, environ 20 fois plus élevé que le sel, dont le prix s'élève à 55 \$ (CAN) la tonne au Québec (Anonyme, 1991 ; D'Itri, 1992 ; C. Nadeau, comm. pers.).

Étant donné la faible utilisation du produit, ses performances dans diverses conditions sont mal connues. Dans les conditions sous lesquelles il a été testé, l'AMC était performant, mais pas aussi efficace et constant que le sel. Son action est plus lente et il est moins efficace à de basses températures ($< 23^{\circ}\text{C}$) et lors de pluies verglaçantes, de tempêtes de neige sèche et lorsqu'il y a peu de trafic. Le moment de l'application est aussi plus déterminant que pour le sel, car ses performances sont réduites de façon notable lorsque l'application est retardée. Enfin, l'AMC est généralement appliqué en plus grande quantité (poids) que le sel ($\sim 20\%$ ou plus) et peut ainsi nécessiter plus de chargements et un plus grand espace d'entreposage. Selon les recherches effectuées jusqu'à présent, l'AMC semble avoir un impact environnemental négligeable et il est moins corrosif que le sel. Des moyens de fabrication moins coûteux sont présentement à l'étude (Anonyme, 1991).

Aux États-Unis, un comité a comparé les avantages-coûts de l'utilisation du NaCl et de l'AMC et en est venu à la conclusion que l'utilisation généralisée de l'AMC comme déglacant est difficilement envisageable. Comparé au sel, l'utilisation de l'AMC entraînerait des coûts à l'achat de 20 à 30 fois plus élevés et des frais d'entretien cinq fois plus importants. En se basant sur les données actuelles sur les performances de l'AMC et son prix, le comité croit que l'usage futur de ce produit réside plutôt dans des applications sélectives en petites quantités, comme cela se fait présentement dans certaines régions sensibles au point de vue environnemental ou sur des sections d'autoroutes et des infrastructures facilement corrodables (Anonyme, 1991).

Le débat sur les déglacants n'est pas clos pour autant puisqu'un autre spécialiste, D'Itri (1992), a pour sa part suggéré que si tous les coûts indirects liés à la corrosion et aux dommages environnementaux causés par le sel étaient pris en compte, l'utilisation de l'AMC pourrait ne pas être aussi dispendieuse qu'il n'y paraît.

Enfin, des recommandations techniques ont aussi été faites pour utiliser plus judicieusement le sel et en diminuer l'accumulation le long des routes (Anonyme, 1990 ; Anonyme, 1999). Les principales actions suggérées sont les suivantes :

- Planifier correctement le drainage des nouvelles routes et corriger celui des routes existantes lorsque c'est possible.
- Limiter les quantités de sel épandues, en gérant correctement la fréquence et l'intensité du salage des routes afin d'obtenir des conditions routières sécuritaires en fonction du type de tempête.
- Calibrer correctement l'équipement et régler avec soin la largeur de l'épandage du sel afin d'éviter le gaspillage.
- Épandre du côté de la route opposé au vent de manière à utiliser ce dernier pour éparpiller le sel sur la route.

2.2.18. L'aménagement des mares salines

D'autres mesures ont aussi été prises pour tenter de diminuer l'effet de la présence de mares salines le long des routes sur la fréquence des accidents routiers. La plus commune est l'amélioration du drainage. Au Québec, dans le cadre de travaux de recherche réalisés dans la réserve faunique des Laurentides au début des années 1980, on a tenté d'assécher les mares salines en améliorant le drainage des fossés bordant la route et en ajoutant de nouvelles canalisations. Cette méthode s'est cependant révélée peu fructueuse, car au cours des deux années qui ont suivi les travaux, la plupart des mares s'étaient emplies à nouveau d'eau. La salinité des mares et leur fréquentation par les orignaux n'ont pas été modifiées significativement à cause du sel imprégné dans le sol (Jolicoeur et Crête, 1987).

D'autres travaux récents effectués par le ministère des Transports dans la même région visent aussi à corriger le drainage afin d'éliminer les mares d'eau stagnantes en bordure des routes (MTQ, 2002). Cette fois, cependant, les mares sont empierrées de manière à en décourager l'utilisation par les orignaux. Des modifications aux techniques usuelles de drainage ont aussi été apportées en empierrant les sections des fossés susceptibles de conserver l'eau et les fossés transversaux. Dans ce dernier cas, un bassin de rétention, ramifié ou non, est aussi aménagé. Enfin, pour conserver des sources de sodium pour les orignaux là où des mares salines ont été détruites, des salines artificielles ont été aménagées dans des endroits plus sécuritaires, à environ 1 km de la route. D'autres auteurs ont déjà suggéré que le fait de fournir aux cervidés des sources de sel éloignées des routes pourrait diminuer le nombre d'accidents routiers (Leopold, 1933, dans Farrell, 2002 ; Fraser et Thomas, 1982 ; Feldhamer *et al.*, 1986). Un suivi à plus long terme des mesures mises en place dans la réserve faunique des Laurentides sera nécessaire, mais jusqu'à présent, elles s'avèrent prometteuses puisque les zones empierrées ne sont plus visitées par les orignaux et que les mares de compensation le sont (M. Poulin, comm. pers.).

Enfin, en Ontario, Fraser et Hristienko (1982) ont testé plusieurs répulsifs chimiques et constaté qu'un produit fait à base de composés d'œufs pourris, appliqué à quelques reprises dans des mares salines non drainables et sur leurs pourtours, avait été efficace à court terme pour éloigner les orignaux. Certains

auteurs ont par la suite suggéré l'emploi de ce répulsif (Jolicoeur et Crête, 1987 ; Anonyme, 1999), mais, à notre connaissance, il n'existe pas d'autres études qui ont testé ce produit ou d'autres répulsifs dans le même contexte.

Des expériences sur des répulsifs ajoutés au sel de déglacage sont cependant en cours dans certaines provinces canadiennes où l'on a des problèmes avec des cervidés qui lèchent le sel directement sur les routes, été comme hiver. Ce problème qu'on ne semble pas avoir au Québec, a été observé notamment dans le cas du cerf de Virginie (Jones *et al.*, 1986), du mouflon et du caribou (Crozier-Smith, 2001). En Alberta, on tente de faire perdre cette habitude à des caribous en ajoutant du chlorure de lithium au produit de déglacage, un additif qui rend les animaux nauséeux. Les résultats obtenus avec cette technique ne sont pas encore connus. En Colombie-Britannique, on expérimente plutôt l'addition de poivre de cayenne au sel de déglacage pour diminuer la présence de mouflons sur les routes. Selon l'hypothèse étudiée par les chercheurs, ce produit peu coûteux ne rendrait pas l'animal malade, mais créerait une sensation suffisamment désagréable pour l'encourager à trouver sa source de sodium ailleurs que sur la chaussée (Crozier-Smith, 2001).

2.3. Objectif : Modifier le comportement des usagers de la route

2.3.19. Les panneaux de signalisation

La méthode de mitigation la plus répandue pour tenter de réduire les collisions routières avec les cervidés est la pose de panneaux de signalisation au début des sections de route, où les risques sont plus élevés (Pojar *et al.*, 1975 ; Miller, 1985). Le panneau classique est un losange jaune, semblable aux autres signaux d'avertissement de danger, qui affiche une silhouette de cervidé noire et parfois aussi la longueur de la section dangereuse. L'objectif visé par cette signalisation est d'accroître l'attention des automobilistes et de diminuer leur vitesse (Reed et Ward, 1985). Les études qui ont évalué l'efficacité de cette mesure sont plutôt rares, principalement parce qu'elles sont compliquées et coûteuses (Skolving, 1985 ; Wood et Wolfe, 1988 ; MIWGWMVC, 2001).

Une recherche suédoise a déterminé, à partir d'entrevues, qu'environ le tiers des automobilistes remarquent les panneaux de signalisation de traverses de cervidés (Skolving, 1985). Selon d'autres auteurs, même lorsque les conducteurs les aperçoivent, très peu d'entre eux réduisent leur vitesse de manière significative (Pojar *et al.*, 1975 ; Romin et Bissonette, 1996). Étant donné que ces signaux sont souvent très communs et qu'ils ne signifient pas nécessairement qu'il y a présence de cervidés, les usagers de la route deviendraient peu à peu indifférents à l'avertissement, à moins que le signal ne soit renforcé

par la vue d'un animal (Romin et Bissonette, 1996). Pourtant, deux études réalisées aux États-Unis et en Suède ont montré que même des silhouettes de cerf et d'orignal placées sur l'accotement n'avaient pas provoqué de réaction chez une grande proportion des automobilistes (D.F. Reed, comm. pers.; Åberg, 1981, dans Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996). Pojar *et al.* (1975) ont noté que seule une preuve tangible du danger, soit la présence de quelques carcasses de cerfs disposées sur le bord de la route, avait eu pour effet de réduire la vitesse des véhicules de l'ordre de 10 à 12 km/h, qu'il y ait ou non un panneau de signalisation.

Certains ont suggéré que des signaux qui se démarquent des autres, par exemple des panneaux surdimensionnés, des signaux lumineux animés, des silhouettes de cervidés réfléchissantes ou encore des panneaux donnant des statistiques d'accidents, pourraient être plus efficaces pour attirer l'attention des usagers de la route, du moins à court terme (Miller, 1985 ; Oosenbrug *et al.*, 1991 ; Danielson et Hubbard, 1998 ; Magnac-Winterton *et al.*, 1998). La réaction des automobilistes aux panneaux permanents, même non conventionnels, serait tout de même insuffisante pour entraîner une diminution du nombre de collisions (Pojar *et al.*, 1975).

D'autres auteurs ont donc suggéré que les signaux pourraient être plus efficaces s'ils étaient utilisés pendant les périodes où le danger est accru (Messmer, 2000 ; MIWGWMVC, 2001). Des études réalisées en Suède ont toutefois montré que les usagers de la route n'y prêtaient pas plus attention (Skoliving, 1985 ; Lavsund et Sandegren, 1991). Cette solution est aussi difficilement applicable pour des raisons de responsabilité civile, dans le cas où un accident se produirait en dehors des périodes plus à risque (MIWGWMVC, 2001). L'emploi de signaux lumineux temporaires a tout de même été efficace dans un couloir de migration traditionnel où le passage de cerfs muets était bien circonscrit dans le temps et l'espace (Messmer, 2000).

Un tout nouveau type de signalisation dynamique, utilisant des systèmes de détection, est actuellement en cours d'expérimentation et il semble prometteur. Des signaux lumineux ou des panneaux à affichage variable peuvent ainsi être déclenchés par la présence d'un animal près de la route et prévenir le conducteur uniquement lorsqu'il y a un danger. Ces systèmes de transport intelligents sont très variés et ils seront décrits plus en détail dans une autre section. S'ils s'avèrent fiables, ils pourraient éventuellement permettre d'augmenter la sécurité sur certaines routes (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996 ; Lehnert et Bissonette, 1997).

2.3.20. Les bandes rugueuses et autres marquages sonores

Les bandes rugueuses sont un dispositif d'alerte sonore, constitué d'un relief intermittent généralement disposé longitudinalement dans le revêtement de l'accotement, destiné à prévenir les conducteurs somnolents ou inattentifs d'une sortie de route imminente. L'installation de bandes rugueuses le long des voies de circulation est une technique relativement nouvelle au Québec (MTQ, 2001b), mais elle est répandue aux États-Unis.

Dans ce pays, on utilise aussi de plus en plus les bandes rugueuses disposées transversalement à la route afin de signaler aux conducteurs une situation qui exige de la prudence et attirer leur attention sur une signalisation qui leur indique quoi faire (arrêt, réduction de la vitesse, etc.). Elles sont parfois installées à l'approche de chantiers de construction, d'intersections ou de courbes dangereuses (Hardwood, 1993) et pourraient l'être bientôt à proximité des passages à niveau (Lerner *et al.*, 2002). Au Québec, une technique de marquage sonore temporaire, appliquée perpendiculairement à la chaussée, est actuellement testée dans la région de Montréal pour avertir les automobilistes de l'approche d'un chantier de construction. Dans ce cas, le revêtement est scarifié ou un produit de surface est appliqué (Tremblay, 2001). Lehnert et Bissonette (1997) ont avancé que les bandes rugueuses pourraient être utilisées efficacement pour signaler les traverses de cervidés. Le marquage sonore temporaire est une méthode qui pourrait également être expérimentée pour attirer l'attention des automobilistes sur l'affichage signalant une zone dangereuse pour les collisions avec les cerfs ou les orignaux (M. Poulin, comm. pers.).

L'efficacité des bandes rugueuses posées transversalement ne semble pas avoir été beaucoup étudiée jusqu'à présent. Quelques études ont été réalisées à proximité de chantiers de construction et, selon Hall et Wrage (1997), elles ont montré que cette technique semblait utile pour informer les automobilistes d'un danger potentiel, mais que les résultats concernant les réductions de la vitesse n'étaient pas concluants.

Pour être efficaces, les bandes rugueuses doivent être placées à une distance suffisamment grande avant la zone dangereuse pour que l'automobiliste ait le temps de voir la signalisation et de réagir. Il est aussi important qu'elles ne soient pas surutilisées, car elles pourraient alors perdre leur capacité à attirer l'attention des conducteurs (Hardwood, 1993).

2.3.21. La réduction de la limite de vitesse

Certains auteurs ont suggéré qu'une réduction de la vitesse dans les zones à risque pourrait être une solution efficace pour diminuer le nombre de collisions avec les cervidés (Oosenbrug *et al.*, 1991 ; Groot Bruinderinck et Hazebroek, 1996 ; Romin et Bissonette, 1996 ; Magnac-Winterton *et al.*, 1998 ;

MIWGWMVC, 2001), ou tout au moins pour réduire leur gravité (Lavsund et Sandegren, 1991).

L'hypothèse sous-jacente est qu'une réduction de la vitesse devrait donner plus de temps aux automobilistes pour voir les animaux à proximité de la route et réagir (Miller, 1985). D'autres, comme Miller (1985) à Terre-Neuve, ont mis en doute le fait qu'une limitation de la vitesse pourrait réduire le nombre d'accidents avec les orignaux. Selon cet auteur, les collisions étant liées au trafic autant qu'à la vitesse, une réduction de cette dernière pourrait causer plus de problèmes que n'en résoudre. Peu d'études ont cependant examiné spécifiquement la relation qui existe entre la limite de vitesse et le nombre de collisions avec la grande faune (Reed et Ward, 1985 ; Romin et Bissonette, 1996).

Les limitations de vitesse sont généralement peu populaires auprès des automobilistes et souvent elles ne sont pas respectées (Lavsund et Sandegren, 1991). Elles sont aussi difficilement applicables, car elles sont coûteuses à faire respecter sur de longues sections de route (Joyce et Mahoney, 2001 ; MIWGWMVC, 2001) et peuvent causer d'autres problèmes de sécurité (Miller 1985 ; Transportation Research Board, 1998, dans Farrell, 2002). Des limitations qui ne seraient en vigueur que la nuit ou au cours des périodes les plus à risque seraient également difficiles à intégrer à la réglementation (MIWGWMVC, 2001).

Dans le cadre d'une étude réalisée dans le parc de Yellowstone, Gunther *et al.* (1998) ont découvert que la configuration de la route influençait plus la vitesse des véhicules que les panneaux de signalisation de limite de vitesse. Ils ont donc suggéré qu'au moment de la réfection des routes du parc, le design de celles-ci soit modifié chaque fois que c'est possible pour ne permettre qu'une vitesse maximale de 70 km/h. Cette solution peut très bien s'intégrer à la mission d'un parc, mais elle est difficilement réalisable ailleurs, où les contraintes sociales et économiques exigent généralement des voies plus rapides.

2.3.22. La sensibilisation et l'éducation des conducteurs

Même si leur efficacité n'a pas été testée spécifiquement (Romin et Bissonette, 1996), les programmes de sensibilisation aux accidents avec la grande faune sont largement utilisés dans le but de modifier le comportement des usagers de la route et accroître leur vigilance. Plusieurs auteurs ont conseillé leur emploi, seul ou en combinaison avec d'autres mesures, afin de réduire le nombre d'accidents avec les cervidés (Miller, 1985 ; Oosenbrug *et al.*, 1991 ; Belant, 1995 ; Romin et Bissonette, 1996 ; MIWGWMVC, 2001).

Ces programmes consistent généralement à diffuser, dans les médias locaux, des annonces incitant les automobilistes à la prudence pendant les périodes critiques (Child *et al.*, 1991). Des dépliants et des posters sont aussi parfois distribués dans les régions concernées (Lavsund et Sandegren, 1991 ; Oosenbrug

et al., 1991 ; MIWGWMVC, 2001 ; MTQ, 2002). Enfin, des organismes publics utilisent leur site Internet pour diffuser de l'information visant à sensibiliser et éduquer le public à ce problème (ministère de la Sécurité publique du Nouveau-Brunswick, 2002 ; Newfoundland and Labrador Department of Works, Services and Transportation, 2002 ; British Columbia ministry of Transportation, 2002).

Certains sont cependant sceptiques quant à l'efficacité des programmes de sensibilisation. Ainsi, Lavsund et Sandegren (1991) mentionnent que, même si la plupart des conducteurs suédois sont sensibilisés au danger d'un accident avec un orignal, le risque individuel leur paraît si faible que la plupart d'entre eux ne modifient pas leur manière de conduire. Farrell *et al.* (1996) ne croient pas non plus qu'un programme de sensibilisation puisse à lui seul diminuer significativement le nombre de collisions, mais ils pensent toutefois que des annonces dans les médias, concentrées pendant les mois à haut risque, pourraient accroître l'efficacité des autres méthodes employées, et ce, à peu de frais.

L'information distribuée dans le cadre d'un programme local de sensibilisation aux accidents avec les cervidés devrait inclure des statistiques montrant l'ampleur et la gravité du problème ainsi que les endroits et les périodes à risque. Elle devrait aussi comprendre un volet éducatif qui renseignerait les conducteurs sur le comportement des cervidés et sur les moyens qu'ils peuvent prendre pour prévenir les collisions et pour limiter les dommages lorsque l'accident est inévitable (Miller, 1985 ; Farrell, 2002).

En effet, certains auteurs sont persuadés qu'en améliorant l'habileté des conducteurs à réagir au danger potentiel que représente la faune sur les routes, il est possible de réduire à la fois la fréquence des accidents et leur gravité (Miller 1985 ; Koehne, 1991, dans Farrell, 2002). Dans le Maine, une vidéo portant sur le danger des collisions avec la grande faune a d'ailleurs été produite afin d'être intégrée aux cours de conduite (MIWGWMVC, 2001).

Comme c'est le cas pour les programmes de sensibilisation, l'effet de l'éducation des usagers de la route aux dangers des collisions avec la faune n'a cependant pas fait l'objet d'études spécifiques. Une recherche, réalisée en Suède, a par contre évalué l'habileté des conducteurs à détecter les orignaux le long de la route. Les résultats ont montré qu'un automobiliste « ordinaire » ne scrutait pas le terrain de façon optimale, c'est-à-dire en balayant constamment du regard les deux côtés de la route. La plupart des conducteurs ne regardent que devant eux et ne voient même pas les orignaux qui sont près de la chaussée (Aberg, 1981 dans Lavsund et Sandegren, 1991). Les chercheurs suédois ont aussi constaté que les conducteurs qui pratiquaient la chasse et connaissaient le comportement de l'orignal détectaient la présence de cet animal beaucoup plus rapidement que les autres (Miller, 1985).

Reed et Ward (1985) sont d'avis que l'effet de l'éducation du public au comportement des automobilistes devrait être étudié, mais ils doutent qu'un programme d'éducation, même intensif, réussisse à diminuer significativement la fréquence des accidents. Selon eux, les exigences de la conduite de nuit (l'acuité visuelle diminuée à cause de l'éblouissement, la vitesse qui implique une distance de freinage plus grande que la distance éclairée par les phares, etc.) dépassent le plus souvent la capacité d'attention du conducteur et ses capacités physiques.

2.4. Objectif : Rendre les voitures et les routes plus sécuritaires

2.4.23. L'éclairage

La majorité des accidents avec les cervidés se produisent quand il fait nuit, et l'hypothèse selon laquelle l'éclairage des routes pourrait diminuer le nombre de collisions en effrayant les animaux et en augmentant le temps de réaction des automobilistes a souvent été formulée (Reed et Woodard, 1981 ; Miller, 1985 ; McDonald, 1991 ; MIWGWMVC, 2001). L'éclairage aurait démontré son efficacité pour réduire les accidents routiers en milieu urbain (Reed et Woodard, 1981), mais les études réalisées dans le contexte des collisions avec la faune sont très rares et, en Amérique, une seule semble avoir testé cette méthode de manière assez rigoureuse. Dans cette expérimentation, réalisée au Colorado, Reed et Woodard (1981) ont éclairé une zone à risque de 1,2 km, une semaine sur deux, pendant cinq hivers consécutifs. La zone étudiée comprenait une section très illuminée de 0,5 km et deux sections adjacentes couvertes par un éclairage de transition. Les résultats ont montré que l'éclairage n'avait pas influencé la vitesse des véhicules, le nombre et l'emplacement des traversées des cerfs, ni le ratio traversées/accident. Ils ont donc conclu que cette méthode n'était pas efficace pour réduire le nombre d'accidents avec le cerf, du moins dans les conditions particulières de leur étude, où le pelage beige des animaux semblait se confondre facilement avec la chaussée illuminée et l'arrière-plan, même directement sous l'éclairage. Des résultats similaires ont été obtenus en Europe (Bank *et al.*, 2002).

Certains croient tout de même que l'éclairage pourrait être utilisé efficacement avec d'autres méthodes (McDonald, 1991 ; MIWGWMVC, 2001). En Alaska, une portion d'autoroute où les risques d'accidents avec les orignaux étaient élevés a été élargie de 4 à 6 voies, éclairée sur toute sa longueur et clôturée partiellement. Dans les trois années qui ont suivi ces travaux, les chercheurs ont remarqué que le nombre d'accidents avait diminué de 65 % dans la portion éclairée non clôturée, comparativement aux 11 années antérieures. Cette étude n'utilisait cependant pas de zone témoin et l'effet de l'éclairage ne pouvait être isolé de celui de l'élargissement de l'autoroute. L'auteur pense toutefois que ces deux facteurs pourraient

avoir constitué une très bonne barrière pour l'orignal et conclut en mentionnant que l'éclairage a semblé efficace, même si son mécanisme d'action n'a pas été déterminé (McDonald, 1991).

Dans le Maine, on a avancé l'idée que l'illumination des emprises, en plus de celle de la route, pourrait augmenter les contrastes et ainsi accroître le temps de réaction des conducteurs dans les zones dangereuses (MIWGWMVC, 2001). Ces auteurs considèrent que l'éclairage a comme avantages de pouvoir être installé et entretenu sur une courte portion de route à des coûts relativement bas et de pouvoir être déplacé lorsque les conditions changent. Au contraire, Miller (1985) ne recommandait pas l'éclairage pour réduire les collisions avec les orignaux à Terre-Neuve car, selon elle, l'efficacité douteuse de la méthode ne justifiait pas les coûts.

2.4.24. Les caractéristiques de la route

2.4.24.1. L'emplacement du tracé

Le tracé et les caractéristiques de la route peuvent influencer la fréquence des accidents avec la faune, et c'est pourquoi une excellente collaboration devrait être établie entre les ingénieurs des transports et les responsables des ressources naturelles au moment de la conception d'une nouvelle route. Cette coordination est essentielle pour élaborer des mesures particulières pour chaque site potentiellement problématique (Leedy et Adams, 1982 ; Müller et Berthoud, 1999 ; MIWGWMVC, 2001).

La diversité du paysage influence la densité des populations de cervidés, car ces derniers recherchent les milieux qui leur offrent un bon entremêlement d'habitats servant à l'abri et à l'alimentation. Les risques de collisions sont donc plus grands dans les milieux diversifiés, et ce facteur devrait être pris en compte dans la planification du tracé des routes (Finder *et al.*, 1999). Lorsque celles-ci doivent tout de même traverser un milieu très fragmenté, on devrait s'abstenir de les faire passer dans des grands blocs de forêt résiduelle qui servent de couvert de protection aux cervidés (Finder *et al.*, 1999). De plus, puisqu'il a été remarqué que les sections de route à risques sont souvent situées à la frontière entre un boisé et un champ, les milieux homogènes devraient être favorisés lors de la planification du tracé (Puglisi *et al.*, 1974 ; Carbaugh *et al.*, 1975 ; Bashore *et al.*, 1985). Enfin, dans tous les cas, les habitats très importants pour la faune, comme les aires d'hivernage, devraient être contournés (Donihee et Gray, 1982 ; Child *et al.*, 1991).

Associée à la végétation, la topographie constitue aussi un facteur important quant à l'endroit où se produisent les accidents avec les cervidés, car elle peut canaliser les déplacements de la faune, comme c'est le cas par exemple pour les corridors ripariens (Carbaugh *et al.*, 1975 ; Finder *et al.*, 1999 ; Farrell,

2002). Les risques de collisions sont effectivement plus élevés là où les routes croisent des cours d'eau (Romin, 1994, dans Finder *et al.*, 1999 ; Seaby, 1998; Hubbard *et al.*, 2000) et, selon Finder *et al.* (1999), et ils augmentent avec la largeur du corridor. Le tracé des nouvelles routes devrait donc, idéalement, éviter de croiser ces corridors naturels. Les petits ravins adjacents à la route peuvent aussi constituer un danger, car ils limitent la visibilité des automobilistes ainsi que celle des cervidés, qui ne peuvent voir un véhicule qui s'approche qu'une fois rendus sur la chaussée. Il est donc recommandé que les routes ne longent pas immédiatement ce genre de dénivellation (Finder *et al.*, 1999).

2.4.24.2. L'alignement et la pente de la route

Au moment de la planification ou de la modification de l'alignement d'une route, Groot Bruinderink et Hazebroek (1996) suggèrent qu'on tente de la faire la plus droite et la plus plate possible pour améliorer la visibilité. Ils citent Hartwig (1993), qui a déterminé qu'en Allemagne environ 35 % des collisions se produisaient dans des endroits où la visibilité est réduite, comme les courbes et les pentes.

Au contraire, Bashore *et al.* (1985) ont pour leur part constaté qu'en Pennsylvanie, le nombre d'accidents avec les cerfs était plus élevé là où la visibilité sur la route était la meilleure. Pour expliquer ce résultat, les auteurs avancent que les automobilistes qui voient la route très loin devant eux ont tendance à accélérer et qu'ils sont ainsi plus susceptibles de heurter un cerf camouflé surgi soudainement de l'emprise. Dans une autre étude, réalisée par Finder *et al.* (1999) en Illinois, la présence de courbes ne semblait pas influencer la probabilité d'accidents avec les cerfs. Les auteurs ont émis diverses hypothèses pour expliquer ce résultat, soit que ce facteur n'avait effectivement pas d'effet, que les désavantages des courbes (moins bonne visibilité) étaient compensés par leurs avantages (vitesse réduite), ou encore qu'il y avait une autocorrélation spatiale entre les sites à risque et les témoins adjacents utilisés dans leur étude.

En Pennsylvanie, Carbaugh *et al.* (1975) ont remarqué que les cerfs de Virginie étaient plus présents sur les bords de route en pente que sur ceux qui étaient plats. De plus, les cerfs étaient plus nombreux à traverser la route là où l'emprise était en pente descendante, et les sections de route les plus traversées avaient une topographie variée, c'est-à-dire qu'on y trouvait un entremêlement de collines et de vallées.

Pour améliorer la visibilité des conducteurs dans les corridors routiers, il serait souhaitable que les routes soient droites et que la chaussée et l'emprise soient planes. Pour que cette amélioration porte fruit sur le plan des accidents avec la grande faune, il faudra cependant mettre en œuvre d'autres moyens pour inciter les automobilistes à modifier leur comportement dans les zones à risque, pour qu'ils balayent du regard le corridor en entier et qu'ils réduisent leur vitesse.

2.4.24.3. Le volume du trafic

Selon certains auteurs, le volume du trafic et la densité des cervidés sont de bons indices prédictifs du nombre d'accidents avec des cervidés (Joyce et Mahoney, 1991 ; Finder *et al.*, 1999). D'autres n'ont cependant pas pu démontré de corrélation entre le nombre d'accidents avec les cerfs et le volume de trafic quotidien, mensuel ou annuel (Case, 1978 ; Waring *et al.*, 1991).

Il n'y a pas non plus de consensus sur l'influence que peut avoir le nombre de voies de circulation sur la fréquence des accidents avec les cervidés. Certains croient qu'une autoroute à quatre voies peut constituer un obstacle important pour les animaux (McDonald, 1991) et, en Pennsylvanie, Bashore *et al.* (1985) ont montré que plus de collisions se produisaient sur des autoroutes à deux voies qu'à quatre voies. D'autres pensent plutôt qu'une augmentation du nombre de voies va accroître le volume et la vitesse du trafic et ainsi multiplier les accidents (Foster et Humphrey, 1995), une corrélation qui a d'ailleurs été observée en Iowa (Hubbard *et al.*, 2000).

2.4.25. **L'élargissement de l'accotement et des corridors routiers**

Un élargissement des accotements a été réalisé lors de récents travaux d'amélioration de la route Transcanadienne à Terre-Neuve, où l'on croit à l'efficacité de cette mesure pour réduire le nombre d'accidents avec la grande faune. Malheureusement, aucun suivi n'a été effectué pour tester son efficacité (B. McLaren, comm. pers).

Finder *et al.* (1999) ont déterminé que le facteur le plus important pour prédire le nombre d'accidents avec les cervidés était la distance par rapport au couvert forestier. Ils expliquent ces conclusions par le fait que la forêt constitue un bon abri pour les cerfs et qu'elle peut abriter une plus grande densité de population. Elle est également susceptible de masquer la présence des animaux sur le bord de la route. Comme il a été mentionné précédemment, au point 2.4.15, certains chercheurs se sont penchés sur l'efficacité du dégagement de la végétation basse dans les emprises, mais, à notre connaissance, aucune publication ne rapporte l'effet de l'élargissement des corridors routiers par le déboisement. Finder *et al.* (1999) avancent tout de même que dans les cas extrêmes, il serait possible de réduire les endroits où les cervidés peuvent se dissimuler en enlevant la végétation ligneuse le long des routes jusqu'à une largeur d'au moins 40 m et en nivelant le relief immédiatement adjacent à la chaussée.

Cette technique permettrait certainement d'accroître la visibilité pour les conducteurs et les animaux, mais ses avantages pourraient être contrebalancés par les inconvénients liés à la manipulation de l'habitat déjà énumérées au point 2.4.15.

2.4.26. Les systèmes de transport intelligents

Étant donné l'efficacité limitée ou le coût élevé des mesures de mitigation conventionnelles utilisées jusqu'ici, les organismes responsables des transports se tournent depuis peu vers les systèmes de transport intelligents (STI) afin de trouver des mesures à la fois efficaces et abordables.

2.4.26.1. La détection des animaux à proximité des routes et signalisation dynamique

La plupart des systèmes présentement testés ont pour but de détecter la présence des animaux à proximité de la route et de prévenir les automobilistes à l'aide d'une signalisation dynamique. Ce type de signalisation est considérée plus efficace que la signalisation statique pour provoquer une réaction de la part des automobilistes; et elle peut aller du panneau statique avec un feu clignotant jusqu'au signal à matrice lumineuse (Pojar *et al.*, 1975 ; Farrell, 2002). Les systèmes de détection peuvent quant à eux être actifs, c'est-à-dire recourir à un émetteur et un récepteur, ou encore passifs, c'est-à-dire recourir à un cône de détection. Les avantages de ces systèmes de détection par rapport aux mesures de mitigation conventionnelles sont principalement qu'ils n'entravent pas les déplacements des animaux, qu'ils ne nécessitent pas la construction de passages coûteux et que les usagers de la route sont moins susceptibles de s'habituer aux signaux d'avertissement qu'ils émettent. Des tests utilisant différentes technologies sont en cours à différents endroits en Amérique du Nord et en Europe, mais il est encore trop tôt pour avoir des résultats concluants. Voici une brève description des principaux systèmes expérimentés.

2.4.26.1.a. *Système de détection laser actif*

Le département des Transports de l'État de Washington a conçu un système actif de détection qui emploie un faisceau laser infrarouge d'une longueur d'onde de 1550 nm, sécuritaire pour les yeux. Le dispositif a une portée d'environ 500 m et doit être installé parallèlement à la route. Lorsque le faisceau est interrompu par le passage d'un gros animal, un signal radio déclenche un feu clignotant sur un panneau avertisseur pour prévenir les automobilistes du danger. Le système a été testé avec succès pendant quatre mois sur une plage et des tests en conditions réelles, le long d'une autoroute, ont débuté en octobre 2002 (Gribble, 2002 ; WSDOT, 2002). Ces tests visent à évaluer le fonctionnement du système dans toutes les conditions atmosphériques et à déterminer s'il réduit le nombre de collisions avec les cerfs. Les coûts associés à ce projet, incluant la recherche, le design, la construction et l'installation, ont été inférieurs à 40 000 \$ (US).

La principale difficulté rencontrée dans la mise au point de ce système était liée à la nécessité de trouver un laser qui est assez puissant pour fonctionner sur une distance raisonnable et dans toutes les conditions

atmosphériques, mais qui était aussi sécuritaire pour la vue. Une attention particulière a également dû être apportée au matériel, afin de limiter les fausses détections qui peuvent être causées par un désalignement du laser ou par la distorsion de ce dernier par les rayons directs du soleil (Gribble, 2002).

Au Québec, la fabrication d'un système similaire a commencé il y a deux ans, mais différents détails techniques doivent être corrigés avant qu'il puisse être testé en conditions réelles, sur le bord d'une route. Ainsi, au cours de la prochaine année, le système sera évalué en le montant sur une base de béton pour accroître la stabilité, et le laser actuel sera remplacé par un laser moins puissant mais sécuritaire pour la vue (M. Poulin, comm. pers.).

2.4.26.1.b. *Système de détection infrarouge passif*

Au Wyoming, des centaines de cerfs mulot sont tués chaque année là où une autoroute croise leur route de migration. Pour tenter de remédier au problème, une clôture anticervidés a été installée et une ouverture a été laissée pour permettre le passage des cerfs. Des systèmes de détection infrarouges passifs décelant la chaleur du corps ont été installés de chaque côté de cette ouverture et ont été couplés avec des panneaux avertisseurs munis d'un feu clignotant. Un système auxiliaire composé de dix géophones a aussi été ajouté pour capter les vibrations sismiques créées par le déplacement des animaux et recueillir des données sur les traversées. Enfin, des capteurs ont enregistré des données sur le trafic et une caméra vidéo déclenchée par les géophones a enregistré les passages des cerfs.

Ce système, baptisé FLASH (Flashing Light Animal Sensing Host), a été testé pendant environ six mois afin d'évaluer son efficacité pour faire ralentir les automobilistes et réduire le nombre de collisions. Le comportement des automobilistes a aussi été évalué en fonction de différents scénarios impliquant l'activation volontaire des signaux et la présence ou l'absence d'un cerf empaillé sur le bord de la route. L'expérimentation a montré que les géophones étaient beaucoup plus fiables que le système infrarouge. En effet, 50 % des enregistrements de ce dernier n'étaient pas dus aux cerfs mais à d'autres causes comme par exemple le passage d'oiseaux. Un autre problème a été causé par le fait que les systèmes de détection étaient très près de la route et qu'il était donc possible qu'un cerf puisse les déclencher alors qu'un automobiliste avait dépassé le panneau d'avertissement. Les chercheurs suggèrent donc de placer les systèmes à 50 m ou plus de la route, afin de laisser au moins 20 secondes de réaction aux automobilistes à partir du moment où la présence d'un cerf a été détectée. Enfin, à moins d'avoir vu un vrai cerf ou un cerf empaillé dans la traverse, les usagers de la route n'ont pas ralenti suffisamment pour prévenir les collisions. De plus, lorsqu'un cerf était présent, les automobilistes n'ont pas semblé être influencés par les feux clignotants, car l'ampleur du ralentissement était semblable que ces derniers soient en fonction ou non. Les chercheurs ont conclu que, dans la zone étudiée, le système FLASH n'était pas vraiment

approprié et qu'un passage supérieur ou inférieur serait plus adéquat. Ils croient cependant que ce système pourrait être utilisé dans d'autres régions, où le trafic est plus local et où les gens sont davantage sensibilisés aux risques de collisions avec les cervidés. Selon eux, un programme de sensibilisation devrait d'ailleurs être mis en place pour informer la population du fonctionnement du système et ainsi améliorer son efficacité (Gordon et Anderson, 2002).

2.4.26.1.c. *Système de détection passif avec capteurs de micro-ondes et capteurs infrarouges*

En Finlande, deux traverses pour les orignaux d'environ 200 m de largeur ont été aménagées dans des sections de route clôturées. Vingt capteurs à micro-ondes ont été installés sur cinq poteaux de chaque côté de la route. Ils sont distancés de 50 m et placés à une distance variant de 5 à 20 m de la chaussée de manière à couvrir entièrement la zone adjacente à la route, entre les clôtures. Chaque capteur a une portée de 50 m et un angle de détection horizontal de 60° (Beilinson, 2001). Les systèmes à micro-ondes ont l'avantage d'être peu sensibles à la végétation agitée par le vent (Taskula, 1997, dans Farrell, 2002). Ils se déclenchent cependant fréquemment sans raison lors d'averses, c'est pourquoi un système de détection passif infrarouge, mis en marche par un détecteur de pluie, a dû être ajouté sur chaque poteau pour prendre la relève dans ces conditions. Le déclenchement d'un des systèmes de détection actionne des panneaux à messages variables disposés environ 200 m en amont de la traverse, de chaque côté de la route. Pour les besoins de l'expérimentation, une caméra vidéo pivote en direction du capteur d'où provient le signal et enregistre ce qui se passe. Enfin, des boucles de détection installées dans la chaussée au milieu de la traverse recueillent des données sur le volume et la vitesse du trafic. La mise en œuvre de ce système a coûté environ 90 000 \$ (US) (Beilinson, 2001).

Pour les deux sites à l'étude, les observations recueillies pendant plusieurs mois ont montré que moins de 5 % de tous les déclenchements sont attribuables à la présence de cervidés. Les fausses alarmes auraient été causées par la pluie, le vent, la présence d'humains, de chevaux ou encore de machinerie. La signalisation dynamique aurait réduit la vitesse des automobilistes d'environ 15 km/h lorsque le temps était pluvieux et de 2-3 km/h dans l'obscurité. Celle-ci n'a cependant eu aucun effet sur les conducteurs le jour lorsqu'il faisait beau. Les chercheurs expliquent ce résultat par le fait que la population locale a appris qu'il y avait de nombreuses fausses alarmes et que, pendant le jour, les conducteurs pouvaient facilement voir par eux-mêmes si un animal était présent. Par ailleurs, un sondage a montré que le fonctionnement de ces systèmes, inhabituels sur les routes, n'était pas bien compris du public et qu'il aurait avantage à être publicisé. Enfin, les responsables du projet recommandent que l'aire de détection deviennent la propriété du ministère des Transports afin de mieux contrôler l'utilisation du terrain et de limiter les fausses détections. Ils concluent en soulignant que, même si plusieurs améliorations techniques

devront être apportées au système, celui-ci devrait être efficace pour réduire le nombre d'accidents (Beilinson, 2001).

Un système passif utilisant également des capteurs infrarouges et micro-ondes a commencé à être testé à l'été 2001 sur une section de route du Minnesota, très fréquentée par les cerfs. La principale différence dans ce cas-ci est l'absence de clôtures (Minnesota Department of Transportation, 2001a ; WTI, 2001). L'expérience a dû être interrompue pour la période hivernale à cause de problèmes d'alimentation électrique, et les responsables songeaient alors à remplacer les piles par des panneaux solaires (Minnesota Department of Transportation, 2001b).

2.4.26.1.d. *Système de détection actif utilisant des radiofréquences*

Le département des Transports de l'Orégon, l'université du Montana et le Western Transportation Institute ont mis sur pied un projet de recherche regroupant une douzaine d'États dans le but d'évaluer un prototype de système de détection de la faune qui utilise une signalisation dynamique. Ces organismes se sont associés à l'entreprise Sensor Technologies & Systems, Inc. (STS) pour mettre au point un dispositif qui utilise la technologie du radar. Ce système émetteur-récepteur alimenté à l'énergie solaire émet un faisceau d'ondes radios qui, lorsqu'il est interrompu, active des panneaux de signalisation statiques munis d'un feu clignotant. Il est testé depuis l'automne 2002 sur une section d'autoroute de 1,6 km de long dans le parc Yellowstone (Huijser, 2002).

2.4.26.1.e. *Système de détection de signaux VHF émis par des colliers*

Dans la banlieue de Sequim, dans l'État de Washington, une harde d'environ 80 wapitis vient se nourrir régulièrement le long d'une route achalandée, et plusieurs collisions avec des véhicules se sont produites dans les dernières années. Bénéficiant d'une subvention de 75 000 \$ de l'état fédéral, les départements de la Faune et des Transports de Washington ont mis sur pied un projet de signalisation dynamique activée par la proximité des wapitis. Dans le cadre de ce projet, quelques panneaux de signalisation munis d'un feu clignotant ont été disposés le long d'une section de route de 4,8 km de long. Des récepteurs d'ondes VHF munis d'une antenne fouet ont été installés sur ces panneaux et huit wapitis ont été équipés de colliers émetteurs. Lorsque ceux-ci se trouvent à moins de 400 m d'un récepteur, les colliers déclenchent le feu clignotant pour alerter les automobilistes. Le dispositif semble fonctionner, mais des améliorations devront y être apportées afin de limiter les interférences avec les ondes radios provenant des véhicules (Dunagan, 2000 ; Washington Department of Fish and Wildlife, 2000 ; Farrell, 2002).

2.4.26.1.f. *Caméra infrarouge*

L'entreprise InTransTech d'Edmonton a conçu le « Wildlife Protection System », un système qui utilise une caméra infrarouge pour détecter la présence de la faune. Lorsqu'un animal est détecté, des panneaux de signalisation dynamiques sont activés pour alerter les automobilistes. L'objectif visé est d'avoir un système qui fournisse des détections valables dans au moins 95 % des cas, pour éviter que les usagers de la route ne prennent pas au sérieux les messages d'avertissement (BCCF, 2002).

La caméra infrarouge à haute résolution fonctionne indépendamment des conditions atmosphériques et peut théoriquement détecter une différence de température de l'ordre d'un centième de degré Celsius sur une distance de plusieurs kilomètres. Elle est liée à un logiciel qui interprète l'image du gradient thermique et qui pourrait, au besoin, différencier l'espèce (BCCF, 2002 ; Read, 2002). Selon InTransTech, le prix du système se situera entre 50 000 et 70 000 \$ par kilomètre (Floren, 2002).

Quatre prototypes du système sont actuellement testés dans le monde, dont un dans le Parc national de Kootenay, en Colombie-Britannique. Des images vidéo infrarouges et régulières ont été prises pendant trois mois à l'été 2002 afin d'évaluer le fonctionnement du système et mieux connaître le comportement de la faune en bordure de la route. Les images recueillies et des données prises à l'aide de radars serviront aussi à analyser la réponse des automobilistes au système. Un rapport présentant ces premiers résultats devrait être réalisé au début de 2003. Les résultats relatifs au système et à la réponse des automobilistes seront toutefois très sommaires, car le système n'a été complètement actif que quelques jours à cause de problèmes techniques. Ainsi, le logiciel a dû être mis à jour à maintes reprises et une défectuosité du système de refroidissement de la caméra a mis fin aux tests. Ceux-ci reprendront seulement au printemps 2003, car la faune est peu présente en hiver sur ce site d'étude très enneigé (G. Gilfillan, comm. pers.).

2.4.26.1.g. *Système de détection qui alerte la faune à l'approche des véhicules*

En Saskatchewan, une mesure différente a été prise pour diminuer le nombre de collisions avec les cerfs dans les milieux ruraux. L'entreprise International Road Dynamics Inc. a développé le « *Wildlife Warning System* », un système qui détecte les véhicules qui approchent d'une zone à risque pour les accidents avec les cerfs et qui déclenche par ondes radios des dispositifs d'avertissement répartis le long de la route (IRD, 2002). Ces dispositifs incluent des répulsifs lumineux et sonores qui visent à éloigner les animaux. Chaque dispositif communique seulement avec l'unité adjacente, le nombre d'unités peut donc être ajusté facilement, de manière à couvrir toute la zone problématique (Bushman *et al.*, 2001).

La mise au point du produit a débuté à l'automne 2000 et il est présentement testé dans la région de Saskatoon, le long d'une route à deux voies qui traverse un corridor de déplacement naturel du cerf. Les

véhicules sont détectés à l'aide d'un microphone, alors que les dispositifs de répulsion sont constitués d'avertisseurs sonores et de feux clignotants alimentés à l'énergie solaire (Bushman *et al.*, 2001).

Selon le fabricant, le système présente de nombreux avantages par rapport aux mesures traditionnelles, car il permet aux animaux de traverser sans problèmes lorsqu'il n'y a pas de trafic et il est plus flexible et économique que d'autres solutions, comme le clôturage. De plus, celui-ci croit que les animaux ne risquent pas de s'habituer aux différents répulsifs utilisés, parce que leur activation est irrégulière et peu fréquente (Bushman *et al.*, 2001).

2.4.26.2. Les technologies intégrées aux véhicules

En Suède, où les collisions avec les orignaux sont très fréquentes, les constructeurs de voitures SAAB et Volvo portent une attention particulière à la conception du châssis afin d'améliorer la sécurité des automobilistes impliqués dans ce type d'accidents. Ainsi, la charpente du toit est spécialement renforcée, car l'étendue des blessures en cas d'impact avec un orignal dépend souvent du degré d'enfoncement de cette partie du véhicule (Löfling et Thorson, 1988 ; Lövsund *et al.*, 1990). D'autres moyens sont également utilisés par les constructeurs américains et européens afin de rendre leurs véhicules plus sécuritaires, et ceux-ci se tournent de plus en plus vers de nouvelles technologies. Voici une brève description de celles qui semblent avoir de l'efficacité pour réduire la fréquence des accidents avec la grande faune.

2.4.26.2.h. *Vision de nuit*

De nouvelles technologies de vision de nuit intégrées aux véhicules sont actuellement mises au point, et deux systèmes sont déjà offerts sur certains modèles de voitures haut de gamme des entreprises DaimlerChrysler et Cadillac. On prévoit qu'en 2004, huit constructeurs devraient offrir cette option sur leur voitures de luxe (Anonyme, 2002b). Le but visé par ces systèmes est d'améliorer la vision de nuit des automobilistes et de leur donner ainsi plus de temps pour réagir à un danger potentiel.

Le système « Night Vision » de Cadillac, installé derrière la calandre du véhicule, est constitué d'une caméra munie de lentilles qui concentrent l'énergie infrarouge sur un capteur d'environ 6 cm².

L'information recueillie est transmise à des capteurs électroniques, qui la traduisent en une image noir et blanc projetée dans le bas du pare-brise. L'image est semblable à un négatif et les points de chaleur apparaissent clairs. L'angle de détection horizontal est de 11° et l'angle vertical de 4° (General Motors, 2002). La portée du système est de trois à cinq fois supérieure aux feux de croisement et deux fois supérieure aux feux de route (Romans, 2001). Un analyste d'une revue consacrée à l'automobile a fait l'essai d'une Cadillac DeVille munie de ce système et a conclu que le système est inefficace en ville où les

sources de chaleur sont beaucoup trop nombreuses, mais qu'il pourrait être utile pour ceux qui conduisent en dehors des zones urbaines où la faune abonde. Il a cependant noté que la qualité de l'image ne permet pas de bien discerner les objets et que la vision à longue portée est inutile lorsque l'on conduit sur des routes sinueuses ou vallonneuses (Romans, 2001). Le système « Night Vision » est offert en option pour environ 2 000 \$ mais on croit que l'accroissement de la production pourrait faire chuter le prix de près de 50 % d'ici 5 à 10 ans (Anonyme, 2002b).

Du côté de DaimlerChrysler, le système appelé « Active Night Vision » utilise deux projecteurs de lumière infrarouge qui illuminent la route pour détecter tous les objets présents dans le champ de vision, peu importe leur température. Le projecteur a une portée de 152 m, beaucoup plus grande que celle des feux de route qui est d'environ 40 m. De plus, puisque l'énergie infrarouge est invisible à l'œil humain, elle ne distrait pas les usagers de la route qui circulent en sens inverse (Jost, 2001). Une caméra numérique enregistre l'image réfléchiée, qui est ensuite projetée en noir et blanc sur un afficheur à cristaux liquides installé au-dessus du tableau de bord (Anonyme, 2002b). Le système est actuellement disponible sur les Jeep Grand Cherokee et est testé sur plusieurs autres véhicules de l'entreprise, tels que des autobus, des camions lourds et des véhicules d'urgence (Jost, 2001).

2.4.26.2.i. *Éclairage intelligent*

Des systèmes d'éclairage intelligents sont également conçus pour accroître la visibilité des conducteurs. Ainsi, des prototypes européens proposent des combinaisons de lampes et d'obturateurs permettant d'éclairer où et quand c'est le plus nécessaire, tout en limitant l'éblouissement. Les feux du véhicule peuvent donc avoir une intensité qui varie en fonction des conditions routières et ils peuvent même suivre la direction du volant pour donner un éclairage efficace dans les courbes. Avant qu'on la retrouve sur les véhicules, cette technologie devra cependant être mise au point et les standards d'éclairage automobile nord-américains devront éventuellement être modifiés (Sharke, 2001).

2.4.26.3. Les technologies de radiodiffusion

De nouvelles technologies de radiodiffusion pourraient aussi éventuellement aider à mieux informer les automobilistes des risques de collisions avec les cervidés sur certaines sections de route et pendant certaines périodes de l'année. En France, on utilise l'une de ces technologies, le RDS-TMC (Radio Data System-Traffic Message Channel), qui permet la diffusion de données numériques simultanément à un programme de radiodiffusion en mode FM. Grâce à ce système, des informations sur les conditions routières pour un secteur donné sont transmises en temps réel par la radio, même lorsque celle-ci est en veille ou qu'un disque est en train de jouer. La radio revient à son état initial après la diffusion du

message. Le réseau de diffusion est constitué de cellules (un émetteur radio) qui couvrent une région géographique donnée et qui ont la possibilité de diffuser des messages différents. Chaque émetteur reçoit tous les messages et trie ceux qui lui sont destinés, les automobilistes n'entendent donc que les messages qui les concernent. L'émetteur diffuse aussi en fonction de consignes concernant la durée de diffusion et la priorité du message, c'est-à-dire sa fréquence de répétition (Gégout, 2002). Ainsi, par exemple, un automobiliste circulant en début de nuit sur la route 175 à l'automne pourrait entendre par le biais de sa radio un message inséré dans la programmation régulière lui conseillant d'être particulièrement attentif à la présence d'orignaux et lui suggérant la vitesse recommandée dans ces conditions. Ces technologies ont du potentiel pour améliorer la sécurité routière en général et leur applicabilité au Québec mériterait d'être évaluée.

Tableau 1 : Avantages, désavantages et efficacité des différentes mesures

Section	Mesures de mitigation	Avantages	Désavantages	Efficacité
2.1.1	Clôture traditionnelle	• Efficacité éprouvée lorsque bien installée et entretenue.	• Coût élevé à l'achat. • Préparation de terrain et entretien nécessaires pour limiter la végétation. • Utilisation à grande échelle inacceptable aux points de vue économique et biologique. • Des animaux peuvent être emprisonnés dans le corridor clôturé, ce qui nécessite l'installation de sauts ou de portillons à sens unique.	Efficacité démontrée pour les clôtures $\geq 2,4\text{m}$ lorsque bien installées et entretenues.
2.1.2	Structure de franchissement anti-ongulés	• Cause moins d'obstruction aux usagers des chemins secondaires que les barrières grillagées.	• Coût élevé pour avoir une structure qui réponde aux normes. • Usage limité aux routes secondaires à très faible débit.	Sur la base d'observations uniquement : efficacité potentielle à court terme, inconnue à plus long terme.
2.1.3	Passages inférieur et supérieur	• Permet de conserver des corridors de déplacement naturels dans une zone clôturée. • Coût relativement bas lorsqu'ils sont intégrés aux nouveaux ponts.	• Coût généralement très élevé lorsque réalisé après la construction de la route. • Nécessite de l'entretien. • Choix des emplacements limité.	Efficacité démontrée lorsque les caractéristiques de la structure et son emplacement sont adéquats.
2.1.4	Traverse sur la chaussée (avec clôture et signalisation statique seulement)	• Plus économique que les passages à faune.	• Exige une modification du comportement des automobilistes à l'approche de la traverse. • Alerte les automobilistes qu'il y ait présence ou non de faune et peut ainsi entraîner une indifférence aux signaux. • Des animaux peuvent être emprisonnés dans le corridor clôturé si les portillons ou les sauts à sens unique ne sont pas efficaces.	Une seule étude publiée sur une traverse avec signalisation statique et les résultats ont été peu concluants.

Section	Mesures de mitigation	Avantages	Désavantages	Efficacité
2.1.5	Chasse intensive	• Coût peu élevé. • Solution appropriée dans certains cas pour réduire les accidents localement à court terme.	• Prélèvement important nécessaire pour être efficace à long terme. • Occasionne des problèmes d'éthique et de gestion. • Pourrait causer un danger à proximité des axes routiers.	Peu d'études ont été faites dans le contexte routier et leurs résultats sont contradictoires. La chasse est tout de même généralement considérée efficace à court terme pour réduire les populations.
2.1.6	Relocalisation des cervidés	• Mesure de contrôle des populations plus acceptable socialement que la chasse ou l'abattage.	• Méthode compliquée. • Taux de mortalité élevé. • Solution ponctuelle non appropriée pour les grandes populations de cervidés.	Peut-être efficace à court terme pour réduire une population locale, mais la persistance de l'effet varie selon les milieux. Peu efficace en ce qui a trait à la survie des individus relocalisés.
2.1.7	Restauration des prédateurs	• Mesure de contrôle « naturelle ».	• Peu envisageable à cause de contraintes sociales et écologiques.	Efficacité inconnue.
2.1.8	Contrôle de fertilité	• Mesure de contrôle des populations plus acceptable socialement que la chasse ou l'abattage.	• Coût prohibitif. • Utilisation actuellement limitée à des populations confinées. • Incertitudes sur l'impact de ces produits dans la chaîne alimentaire.	Méthode expérimentale potentiellement efficace à court terme, mais limitée aux populations de cervidés confinées dans des parcs.
2.1.9	Abattage professionnel	• Méthode plus sécuritaire que la chasse traditionnelle.	• Solution controversée. • Relativement peu coûteux mais moins économique que la chasse.	Efficace à court terme pour contrer localement une surpopulation de cervidés, mais peu applicable dans le contexte routier.
2.1.10	Capture et euthanasie	• Méthode plus sécuritaire et discrète que l'abattage ou la chasse.	• Coût élevé. • Solution considérée moins acceptable que l'abattage à cause du stress infligé aux animaux. • Ne permet pas le retrait sélectif des femelles.	Efficace à court terme pour contrer localement une surpopulation de cervidés, mais peu applicable dans le contexte routier.

Section	Mesures de mitigation	Avantages	Désavantages	Efficacité
2.2.10	Clôture électrique de type « ElectroBraid »	• Moins coûteuse que la clôture à treillis traditionnelle, plus résistante aux bris et plus attrayante. • Possibilité de l'utiliser en combinaison avec la clôture de non-accès en place pour réduire les coûts d'achat, d'installation et d'entretien. • Ne limite pas les déplacements de tous les animaux. • L'obstacle peut être franchi par des cervidés stressés et ne nécessite donc pas d'échappatoires.	• Préparation de terrain et entretien nécessaires pour limiter la végétation. • Potentiellement plus perméable aux cervidés que la clôture conventionnelle. • Des pannes peuvent survenir et réduire l'efficacité de la clôture temporairement.	Efficace pour éloigner les cervidés des récoltes. En cours d'expérimentation dans le contexte routier, mais potentiel élevé à court terme sur la base des observations préliminaires disponibles. Efficacité à long terme inconnue.
2.2.11	Répulsifs lumineux	• Méthode pouvant être utilisée sur de longues sections de route. • Entrave peu les déplacements.	• Coûts d'installation et d'entretien potentiellement élevés. • Risque d'habituation.	Rendement optique faible et efficacité à tenir les cervidés éloignés non démontrée.
2.2.12	Répulsifs chimiques	• Méthode relativement peu coûteuse à moins d'être appliquée sur de grandes distances.	• Détérioration rapide qui exige des applications fréquentes. • Efficacité variable en fonction des conditions. • Application limitée à des endroits où les humains ne seront pas incommodés. • L'effet (attirance, évitement) sur les autres animaux est inconnu. • Risque d'habituation.	Méthode peu étudiée en contexte routier. Quelques produits semblent avoir une certaine efficacité à court terme. Efficacité à long terme non connue.
2.2.13	Répulsifs sonores	• Méthode peu coûteuse	• Risque d'habituation	Efficacité non démontrée. Plusieurs cas d'habituation rapide rapportés pour les systèmes de répulsion sonore stationnaires.
2.2.14	Effarouchage (par des humains ou des chiens)	• Méthode relativement peu coûteuse	• Technique qui n'est pas légale partout. • Nécessite de nombreuses interventions. • Difficilement applicable en contexte routier pour des raisons de faisabilité et de sécurité.	Méthode utilisée dans des milieux agricoles et dans des parcs; pas testée en contexte routier. Efficacité non démontrée.

Section	Mesure de mitigation	Avantages	Désavantages	Efficacité
2.2.15	Dégagement et contrôle de la végétation arbustive et herbacée sur les bords de route	• Méthode qui a peu ou pas d'impact visuel négatif.	• Méthode coûteuse. • Nécessite un entretien fréquent. • Peut déplacer le problème. • Doit être adaptée à chaque site. • Les plantations peuvent être envahies par la succession naturelle. • Les modifications peuvent entrer en conflit avec d'autres objectifs d'aménagement paysager du corridor routiers.	Méthode peu testée,, dont l'efficacité n'est pas démontrée. Potentiel élevé en ce qui a trait à l'amélioration de la visibilité des conducteurs.
2.2.16	Alimentation artificielle	• Méthode rapide pour aider à solutionner à court terme un problème ponctuel.	• Solution envisageable à court terme seulement. • Application limitée aux sites où la présence des cervidés à proximité des routes est due à l'attrait de la nourriture.	Solution peu étudiée en contexte routier. Semble efficace à court terme dans les milieux où la végétation de l'emprise attire les cervidés.
2.2.17	Solutions de rechange au sel de déglacage	• Méthodes moins corrosives et moins dommageables pour l'environnement.	• Coût plus élevé que le NaCl. • Performances moindres.	L'acétate de magnésium et de calcium (ACM) pourrait être efficace dans certaines conditions, mais son utilisation est limitée actuellement par son prix.
2.2.18	Aménagement des mares salines	• Techniques de drainage et d'empierrement relativement simples et peu coûteuses. • Sources de sodium conservées pour les originaux par le biais de mares artificielles.	• Certaines mares salines ne peuvent être drainées et empierrées.	Méthode récente, qui semble efficace et qui devra faire l'objet d'un suivi à plus long terme.
2.3.19	Panneau de signalisation statique	• Méthode peu coûteuse. • Nécessite peu d'entretien. • A peu d'impacts environnementaux.	• Les usagers de la route s'habituent à leur présence et n'y font plus beaucoup attention.	Efficacité limitée.

Section	Mesures de mitigation	Avantages	Désavantages	Efficacité
2.3.20	Bandes rugueuses	• Méthode peu coûteuse pour attirer l'attention des conducteurs sur la signalisation.	• La surutilisation peut en réduire l'efficacité.	Méthode encore rarement utilisée pour attirer l'attention sur la signalisation et entraîner une modification du comportement. Efficacité non connue.
2.3.21	Réduction de la limite de vitesse	• Procure plus de temps de réponse aux conducteurs.	• Mesure peu populaire et coûteuse à faire respecter. • Les réductions de vitesse permanentes sont difficilement justifiables, et des réductions pendant les périodes à risque ne sont pas applicables. • Une vitesse réduite peut accroître les problèmes de trafic, ce qui pourrait limiter l'efficacité de la mesure.	Efficacité potentielle, mais n'a jamais été étudiée spécifiquement.
2.3.22	Sensibilisation et éducation des conducteurs	• Méthode simple relativement peu coûteuse.	• Ne semble pas influencer beaucoup le comportement des usagers de la route, qui considèrent le risque de collision négligeable.	Même si elles n'ont pas été testées spécifiquement. Selon plusieurs, ces mesures sont peu efficaces utilisées seules. Cependant, employées en combinaison avec d'autres méthodes, elle pourraient en accroître grandement l'efficacité.
2.4.23	Éclairage	• Méthode relativement peu coûteuse.	• Le contraste entre la route et l'animal n'est pas toujours suffisant. • L'éclairage n'est pas toujours bien vu par les résidents ou les utilisateurs du milieu.	À notre connaissance, une seule étude publiée a testé isolément l'éclairage et elle n'en a pas démontré son efficacité. Certains croient toutefois que cette mesure pourrait être efficace en combinaison avec d'autres méthodes et lorsque l'emprise est également éclairée.

Section	Mesures de mitigation	Avantages	Désavantages	Efficacité
2.4.24	Adaptation des caractéristiques de la route	• Mesure relativement peu coûteuse si elle est intégrée dans la conception des nouvelles routes • Pourrait permettre de régler plusieurs problèmes à la source	• Exige une grande collaboration de tous les acteurs qui ne visent pas nécessairement les mêmes objectifs	Efficacité potentielle élevée pour réduire les risques dès la conception de la route (évitement des habitats risqués, optimisation de la visibilité, du drainage, etc.)
2.4.25	Élargissement des accotements et des corridors routiers	• Pourrait permettre d'améliorer la visibilité des conducteurs et des animaux	• L'élargissement du corridor routier pourrait déplacer le problème ailleurs	Méthode qui n'a jamais fait l'objet d'un suivi. Efficacité potentielle si planifiée à grande échelle pour éviter de déplacer le problème.
2.4.26	Systèmes de transport intelligents	• Plus économiques et souples que le clôturage traditionnel et les passages • N'entravent pas ou peu les déplacements de la faune • La signalisation dynamique est moins susceptible d'entraîner l'indifférence chez les conducteurs	• Sujets aux pannes et au vandalisme • L'efficacité dépend de la réponse des usagers de la route à la signalisation	Expérimentations en cours. Efficacité non connue.

Conclusion

Le nombre de collisions routières impliquant la grande faune est en augmentation dans plusieurs régions du monde et ce problème a des conséquences socioéconomiques importantes, dont il faut se préoccuper. De plus en plus d'efforts sont déployés pour y trouver des mesures de mitigation qui soient à la fois efficaces et acceptables socialement, et qui présentent un rapport avantages-coûts positif.

Il n'existe pas de solution universelle pour réduire le nombre de collisions avec la faune, et différentes mesures pourront être utilisées en fonction des particularités des sites à risque et des problèmes rencontrés. La présente revue de littérature a d'ailleurs montré qu'il existe une panoplie de moyens pour réduire le nombre d'accidents avec la faune et que certains sont plus efficaces que d'autres. Malheureusement, l'efficacité de plusieurs d'entre eux n'a pas encore été démontrée, soit parce qu'ils n'ont pas encore fait l'objet d'études, soit parce que les études dont ils ont fait l'objet n'étaient pas assez rigoureuses.

En effet, plusieurs expérimentations n'ont pas utilisé de zone témoin et se sont contentées de comparer le nombre d'accidents avec la grande faune avant et après la mise en place de la mesure, sans tenir compte de tous les facteurs en cause, ce qui a souvent donné lieu à des résultats contradictoires. D'autres expériences ont eu recours à une zone témoin qui était adjacente à la zone où la mesure était mise en œuvre, qui n'était donc pas indépendante spatialement et où plus de collisions étaient par conséquent plus susceptibles de s'y produire. Enfin, pour des raisons économiques, plusieurs tests ont été effectués sur des périodes de temps ou sur des sections de route trop courtes, ce qui limite les conclusions qui peuvent en être tirées.

Pour déterminer de façon non équivoque l'efficacité d'une mesure de mitigation, les études devraient à l'avenir être planifiées à l'échelle du paysage et être basées sur un dispositif expérimental solide. Par ailleurs, une attention particulière devrait être accordée à la sensibilisation des conducteurs aux nouvelles mesures, afin de s'assurer que ceux-ci répondent de la manière souhaitée. En outre, une étroite collaboration entre les différents acteurs est essentielle pour pouvoir obtenir toutes les informations nécessaires pour choisir les mesures les plus appropriées. Enfin, il serait souhaitable qu'on tente de régler le problème à la source, au moment de la conception des nouvelles routes.

Références citées

- Anonyme. 1990. *Deicing Salt and our Environment*. Salt Institute, Alexandria, Virginia, 25 p.
- Anonyme. 1991. *Highway deicing – Comparing Salt and Calcium Magnesium Acetate*. Committee on the Comparative Costs of Rock Salt and Calcium Magnesium Acetate (CMA) for highway deicing, Transportation Research Board, National research council, Washington, D.C., 165 p.
- Anonyme. 1997. « Roadside Wildlife Reflectors - Do they Work? », dans *Road Management and Engineering Journal* (12 mai 1997), [en ligne], adresse URL : <http://www.usroads.com/journals/rmj/9705/rmj970504.htm>
- Anonyme. 1999. *Salt Management Guide*. Transportation Association of Canada, Ottawa, 172 p.
- Anonyme. 2002a. *ElectroBraid™ Fence for Deer Exclusion (May 2002)*. US Department of Agriculture, National Wildlife Research Center, [en ligne], adresse URL : <http://www.electrobraid.com/wildlife/reports/USDAMAY02.html>
- Anonyme. 2002b. « Bring on the Night Vision », dans *Automotive Industries* (4 septembre 2002).
- Armstrong, J.J. 1992. *An Evaluation of the Effectiveness of Swareflex™ Deer Reflectors*. Ontario ministry of Transportation, Research and Development branch, 15 p.
- Bank, F.G., C.L. Irwin, G.L. Evink, M.E. Gray, S. Hagood, J.R. Kinar, A. Levy, D. Paulson, B. Ruediger, R. M. Sauvajot, D.J. Scott et P. White. 2002. *Wildlife Habitat Connectivity across European Highways*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 48 p.
- Bashore, T.L., W.M. Tzilkowski et E.D. Bellis. 1985. *Analysis of Deer-Vehicle Collision Sites in Pennsylvania*. J. Wildl. Manage. 49 : 769-774.
- BCCF. 2002. *Wildlife Protection System : Innovations Leading the Way*. The British Columbia Conservation Foundation, [en ligne], adresse URL : http://bccf.com/wvap/wildlife_ps.htm
- Bechtold, J.-P. 1996. *Chemical Characterization of Natural Mineral Springs in Northern British Columbia, Canada*. Wildl. Soc. Bull. 24 : 649-654-148.
- Bédard, Y. 2000. *Seventh International Symposium on Environmental Concerns in Right-of-Way Management - Rapport de participation*. Ministère des Transports du Québec, Québec, 5 p. et annexes.
- Beilinson, L. 2001. « Using Transport Telematics in Preventing Animal accidents », dans *Finncontact*, Newsletter of the Finnish Highway Transportation Technology Center, n° 9 (mars 2001), p. 2-4.
- Belant, J.L. 1995. *Moose Collisions with Vehicle and Trains in Northeastern Minnesota*. Alces 31 : 45-52.
- Belant, J.L., T.W. Seamans et C.P. Dwyer. 1998a. *Cattle Guards Reduce White-Tailed Deer Crossings through Fence Openings*. International Journal of Pest Management 44 : 247-249.

Belant, J.L., T.W. Seamans et L.A. Tyson. 1998b. « Predator Urines as Chemical Barriers to White-Tailed deer », dans *Proceedings of the 18th Vertebrate Pest Conference*, University of California, p. 359-362.

Belant, J.L., T.W. Seamans et L.A. Tyson. 1998c. « Evaluation of electronic frightening devices as White-Tailed Deer Deterrents », dans *Proceedings of the 18th Vertebrate Pest Conference*, University of California, pp. 107-110.

Bellis, E.D. et H.B. Graves. 1971. *Deer Mortality on a Pennsylvania Interstate Highway*. J. Wildl. Manage. 35: 232-237.

Beringer, J., L.P. Hansen, J.A. Demand, J. Sartwell, M. Wallendorf et R. Mange. 2002. *Efficacy of Translocation to Control Urban Deer in Missouri : Costs, Efficiency, and Outcome*. Wildl. Soc. Bull. 30 : 767-774.

Bernard, J.M. 1987. *Aménagement pour la faune sauvage*. SETRA-CSTR, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, Centre de la sécurité et des techniques routières, Bagneux, France, note d'information n°10, 8 p.

Blomqvist, G. et E.-L. Johansson. 1999. *Airborne Spreading and Deposition of De-icing Salt - a Case Study*. The Science of the Total Environment 235 : 161-168.

Bomford, M. et P.H. O'Brien. 1990. *Sonic Deterrents in Animal Damage Control : a Review of Device Tests and Effectiveness*. Wildl. Soc. Bull. 18 : 411-422.

British Columbia ministry of Agriculture, Food and Fisheries. 2002. *Environmental Guidelines for Tree Fruit and Grape Producers*. Gouvernement de la Colombie-Britannique, [en ligne], adresse URL : <http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/fppa/enviro/fruit/fruit09.htm>

British Columbia ministry of Transportation. 2002. *Summer Travel Tips – Wildlife*. Gouvernement de la Colombie-Britannique, [en ligne], adresse URL : <http://www.th.gov.bc.ca/bchighways/summer/summer.htm>.

Bushman, R., J. Vinek et E. McCaig. 2001. « Development of a warning system for the reduction of Animal/Vehicle Collisions », dans *Rural Advanced Technology & Transportation Systems 2001 International Conference*, [en ligne], adresse URL : <http://www.irdinc.com/english/pdf/tech-ppr/wws-summary.pdf>

Carbaugh, B., J.P. Vaughan, E.D. Bellis et H.B. Graves. 1975. *Distribution and Activity of White-Tailed Deer along an Interstate Highway*. J. Wildl. Manage. 39 : 570-581.

Case, R.M. 1978. *Interstate Highway Road-Killed Animals : a Data Source for Biologists*. Wildl. Soc. Bull 6 : 8-13.

Child, K.N., S.P. Barry et D.A. Aitken. 1991. *Moose Mortality on Highways and Railways in British Columbia*. Alces 27 : 41-49.

Clevenger, T. 1999. *Road Effects on Wildlife : a Research, Monitoring and Adaptive Mitigation Study. Progress report 5, 1 November 1998- 31 October 1999*. Highway Service Center – Parks Canada Agency, [en ligne], adresse URL : <http://www.hsctch-twinning.ca/Environmental/clevenger/pr5.pdf>

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.

Coffey, M.A. et G.H. Johnston. 1997. *A Planning Process for Managing White-Tailed Deer in Protected Areas : Integrated Pest Management*. Wildl. Soc. Bull. 25 : 433-439.

Communications Nouveau-Brunswick. 2002. *Lancement d'une campagne de prévention des accidents impliquant des orignaux (02/06/11)*. Communications Nouveau-Brunswick, communiqué de presse du ministère de la Sécurité publique, 11 juin 2002, [en ligne], adresse URL : <http://www.gnb.ca/cnb/newsf/ps/2002f0600ps.htm>

Conover, M.R., W.C. Pitt. K.K. Kessler, T.J. DuBow et W.A. Sanborn. 1995. *Review of Human Injuries, Illness and Economic Losses Caused by Wildlife in the United States*. Wildl. Soc. Bull. 23: 407-414.

Couturier, S. 1984. *L'utilisation des salines par l'orignal et le cerf dans la réserve faunique de Matane*. mémoire de maîtrise, Université Laval, 163 p.

Craven, S.R. et S.E. Hygnstrom. 1994. « Deer », dans *Prevention and Control of Wildlife Damage-Handbook*, Cooperative Extension Division, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska - Lincoln, United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Animal Damage Control, Great Plains Agricultural Council, Wildlife Committee, p. 25-40.

Crozier-Smith, D. 2001. « Sheep Say 'Bah' to New Salt Mix » dans *Road Runner*, British Columbia Ministry of Transportation Newsletter, vol. 35, n° 11 (été 2001), p. 1 et 4.

Damas et Smith. 1982. *Wildlife Mortality in Transportation Corridors in Canada's National Parks - Impact and Mitigation*. Damas et Smith, a division of DSL consultants Ltd, Ottawa, rapport soumis à Parcs Canada, 397 p. ET annexes.

Danielson, B.J. et M.W. Hubbard. 1998. *A Literature Review for Assessing the Status of Current Methods of Reducing Deer-Vehicle Collisions*. The Task Force on animal vehicle collisions, the Iowa Department of Transportation et the Iowa Department of Natural Resources, [en ligne], adresse URL : <http://www.iastate.edu/~codi/Deer/litreview.pdf>

de Bellefeuille, S., Fortin, J. et M. Poulin. 2003. *Les accidents de la circulation occasionnés par la grande faune sur le territoire de la direction de la Mauricie Centre-du-Québec - bilan statistique 1996 à 2000*. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'Est, Service du soutien technique, 58 p.

deCalesta, D.S. et G.W. Witmer. 1994. « Elk », dans *Prevention and Control of Wildlife Damage-Handbook*, Cooperative Extension Division, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska - Lincoln, United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Animal Damage Control, Great Plains Agricultural Council, Wildlife Committee, pp. 41-50.

DeNicola, A.J., S.J. Weber, C.A. Bridges et J.L. Stokes. 1997. *Nontraditional Techniques for Management of Overabundant Deer Populations*. Wildl. Soc. Bull. 25 : 496-499.

Désiré, G. et D. Stark. 1998. « Clôtures et collisions : aspects juridiques et pratiques », dans les actes du colloque *Les Routes et faune sauvage, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 30 sept-2 oct. 1998*, p. 189-202.

D'Itri, F.M. 1992. *Chemical Deicers and the Environment*. Lewis Publisher inc., Chelsea Michigan, 585 p.

Donihee, J. et P.A. Gray. 1982. *A Review of Road Related Wildlife Problems and the Environmental Management Process in the North*. Northwest Territories Department of Renewable resources, Yellowknife, Information Report n° 2, 17 p.

Dunagan, C. 2000. « Elk Collar Gives Motorists a Heads-Up », dans *The Sun Newspaper* (26 mai 2000), [en ligne], adresse URL : <http://www.thesunlink.com/news/2000/may/0526wildlife.html>

ElectroBraid™ Fence Limited. 2000. *Wildlife Exclusion with ElectroBraid™*, [En ligne], adresse URL : <http://www.electrobraid.com/wildlife/wildlife.html>

Fagerstone, K.A. et W.H. Clay. 1997. *Overview of USDA Animal Damage Control Efforts to Manage Overabundant Deer*. Wildl. Soc. Bull. 25 : 413-417.

Falk, N.W., H.B. Graves et E.D. Bellis. 1978. *Highway Right-of-Way Fences as Deer Deterrents*. J. Wildl. Manage. 42 : 646-650.

FAPAQ (Société de la faune et des parcs du Québec). 2002. *Statistiques de chasse au Québec*. [En ligne], adresse URL : <http://www.fapaq.gouv.qc.ca/fr/faune/statistiques/index.htm>

Farrell, T.M., J.E. Sutton, D.E. Clark, W.R. Horner, K.L. Morris, K.S. Finison, G.E. Menchen et K.H. Cohn. 1996. *Moose-Motor Vehicle Collisions: an Increasing Hazard in Northern New England*. Arch. Surg. 131: 377-381.

Farrell, J.E. 2002. *Intelligent Countermeasures in Ungulate-vehicle Collision Mitigation*. Montana State University, mémoire de maîtrise, Bozeman, MT, USA, 40 p. et annexes.

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*. J. Wildl. Manage. 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.

Floren E. 2002. « Space-age Lifesaver : NASA Technology Being Tested to Help Prevent Wildlife-Vehicle Collisions » dans *The Edmonton Sunday Sun* (15 septembre 2002), [en ligne], adresse URL : http://www.rbpgroup.com/edm_sun_sept_16_02.pdf

Ford, S.G. et S.L. Villa. 1993. *Reflector Use and the Effect they Have on the Number of Mule Deer Killed on California Highways*. Caltrans Environmental division, Sacramento, California, 12 p.

Fortier, R. 1982. *Accidents routiers impliquant des cervidés - rapport d'étude*. Ministère des Transports, Service de l'Environnement, 62 p.

Foster, M.L. et S.R. Humphrey. 1992. *Effectiveness of Wildlife Crossings in Reducing Animal/Auto Collisions on Interstate 75, Big Cypress Swamp, Florida*. University of Florida Department of Zoology and Florida museum of Natural History, University of Florida, Gainesville, Floride, 124 p.

Foster, M.L. et S.R. Humphrey. 1995. *Use of Highway Underpasses by Florida Panthers and Other Wildlife*. Wildl. Soc. Bull. 23: 95-100.

Fraser D. et H. Hristienko. 1982. *Moose-Vehicle Accidents in Ontario : a Repugnant Solution*. Wildl. Soc. Bull. 10 : 266-270.

Fraser D. et E.R. Thomas. 1982. *Moose-Vehicle Accidents in Ontario : Relation to Highway Salt*. Wildl. Soc. Bull 10 : 261-265.

Gagné, J. 2002. *Réponse spectrale du prisme Swareflex*. Ministère des Transports, Service des inventaires et des plans, Direction de l'Estrie, 8 p.

Gégout, A. 2002. *RDS-TMC*. TDF Groupe France Telecom, Innovations R&D – Fiches techniques, [en ligne], adresse URL : <http://www.tdf.fr/ezfilemanager/files/phpgtsBq5>

General Motors. 2002. *DeVille Becomes First Car to Offer Safety Benefits of Night Vision*. General Motors, [en ligne], adresse URL : http://www.gm.com/company/gmability/safety/crash_avoidance/newfeatures/night_vision.html

Gens M. 2001. *Moose Crash Test Dummy*. Swedish national road and transport research institute, mémoire de maîtrise, 32 p.

Gloyne, C.C. et A. P. Clevenger. 2001. *Cougar Puma Concolor Use of Wildlife Crossing Structures on the Trans-Canada Highway in Banff National Park, Alberta*. Wildl. Biol. 7: 117-124.

Gordon, K.M. et S.H. Anderson. 2002. « Motorist response to a deer-sensing warning system in western Wyoming ». *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation, Keystone, CO, September 24-28, 2001*. Raleigh, NC, Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University (Marsh 2002), p. 549-558.

Grenier, P.A. 1974. *Orignaux tués sur la route dans le parc des Laurentides, Québec, de 1962 à 1972*. Nat. Can. 101: 737-754.

Grenier, R.H. 2002. *A study of the effectiveness of Strieter-Lite® Wild Animal Highway Warning Reflector Systems*. Strieter Corporation, [en ligne], adresse URL : http://www.strieter-lite.com/media/scientific_report.pdf

Gribble, R.P. 2002. *Development of an Automated Deer Detector*. Battelle Marine Sciences Laboratory, Sequim, Washington for the Washington State Department of Transportation, Olympia, Washington, 6 p. et annexes.

Groot Bruinderink, G.W.T.A. et E. Hazebroek. 1996. *Ungulate Traffic Collisions in Europe*. Cons. Biol. 10 : 1059-1067.

Gunther, K.A., M.J. Biel et H.L. Robison. 1998. « Factors Influencing the Frequency of Road-Killed Wildlife in Yellowstone National Park », dans *Proceedings of the International Conference on Wildlife Ecology and Transportation (ICOWET), Fort Myers, FL, February 9 to 12, 1998*, pp. 395-405.

Haikonen, H. et H. Summala. 2001. « Deer-Vehicle Crashes: Extensive Peak at One Hour After Sunset. » *American Journal of Preventive Medicine* 21: 209-213.

Hall, J. et E. Wrage. 1997. *Controlling Vehicle Speeds in Highway Construction Zones*. New Mexico State Highway and Research Department, Research Bureau, report NMSHTD-97-07, 42 p.

Hardwood, D.W. 1993. *NCHRP Synthesis 191- Use of Rumble Strips to Enhance Safety - Synthesis of Highway Practice*. Transportation research board, National Cooperative Highway Research Program, Washington D.C., 74 p.

Highway Service Center – Parks Canada Agency. 2002. *Trans-Canada Highway Twinning Project : Wildlife – Mitigation Measures*. Highway Service Center – Parks Canada Agency, Calgary, Alberta, [en ligne], adresse URL : <http://www.hsctch-twinning.ca/Environmental/mitigationmeasures1.htm>

Hildebrand, E. et K. Hodgson. 1995. « Effectiveness of Optical Fences in Reducing Vehicle-Deer Collisions in New Brunswick », dans *Comptes-rendus de la 9^e Conférence canadienne multidisciplinaire sur la sécurité routière; 28-31 mai 1995, Montréal, Québec*, pp.131-143.

Hubbard, M.W., B.J. Danielson et R.A. Schmitz. 2000. *Factors Influencing the Location of Deer-Vehicle Accidents in Iowa*. J. Wildl. Manage. 64 : 707-713.

Huijser, M. 2002. *Announcing the U.S. Highway 191 Animal Detection, Driver Warning System*. Western Transportation Institute, Montana State University, Bozeman, [en ligne], adresse URL : http://www.coe.montana.edu/wti/wti/pdf/animal_detection_driver_warning_brochure.pdf

Ingebrigtsen, S.K. et J.R. Ludwig. 1986. *Effectiveness of Swareflex Wildlife Warning Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Collisions in Minnesota*. Minnesota Department of Natural resources, St-Paul, Minnesota, 6 p.

International Resources inc. 2002. *Electronic Deer Avoidance System Hornet Deer Whistle – Frequently Asked Questions*. International Resources inc., Altoona, Iowa, [en ligne], adresse URL : <http://deer-whistles.com/deer-whistles/faq.htm>

International Road Dynamics Inc (IRD). 2002. *Wildlife Warning System*. International Road Dynamics Inc. Saskatoon, Saskatchewan [en ligne], adresse URL : http://www.irdinc.com/english/pdf/sys/safety/Wildlife_0202.pdf

Jackson, M. 2002. *Une coexistence précaire*. Biosphère 18 : 16-21.

Jolicoeur, H. 1985. « Les mares saumâtres et les accidents routiers impliquant les orignaux (*Alces alces*) au Canada et en particulier au Québec », dans les actes du colloque *Routes et faune sauvage*, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 5-7 juin 1985, p. 359-363.

Jolicoeur, H. et M. Crête. 1987. *Évaluation du drainage des mares saumâtres comme méthode pour réduire les accidents routiers impliquant des orignaux dans la réserve faunique des Laurentides*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, direction de la gestion des espèces et des habitats, 22 p.

Jolicoeur, H, E. Lemay et Y.-P. Gagnon. 1996. *Essai du produit répulsif "Wolfen" sur des cerfs de Virginie en enclos*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, direction de la faune et des habitats, 21 p.

Jones, P.H., B.A. Jeffrey, P.K. Watler et H. Hutchon. 1986. *Environmental Impact of Road Salting - State of the Art*. Ontario ministry of Transportation and Communications, Research and Development Branch, 53 p.

Jost, K. 2001. « DaimlerChrysler tests Active Night Vision », dans *Automotive Engineering International Online* (Septembre 2001), [en ligne], adresse URL : <http://www.sae.org/automag/electronics/09-2001/page3.htm>

Joyce, T.L. et S. P. Mahoney. 2001. *Spatial and Temporal Distributions of Moose-Vehicle Collisions in Newfoundland*. Wildl. Soc. Bull. 29 : 281-291.

Katona, G.Z., R.A. Davis et G.F. Searing. 2000. *Évaluation de divers moyens de lutte contre les cerfs aux aéroports*. LGL limited, King City, Ontario, rapport n° TA2435-1, réalisé pour Transports Canada, Direction de la sécurité des aéroports, [en ligne], adresse URL : http://www.tc.gc.ca/aviation/aerodrome/birdstrike/deer_eval/report_f.htm

Kilpatrick, H.J. et W.A. Stober. 2002. *Effects of Temporary Bait Sites on Movements of Suburban White-tailed Deer*. Wildl. Soc. Bull. 30 : 760-766.

Lavsund, S. et F. Sandegren. 1991. *Moose-Vehicle Relations in Sweden : a Review*. Alces 27 : 118-126.

Leedy, D.L. et L.W. Adams. 1982. *Wildlife Considerations in Planning and Managing Highway Corridors*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report no. FHWA-TS-82-212, 93 p.

Lehnert, M.E. et J.A. Bissonette. 1997. *Effectiveness of Highway Crosswalk Structures at Reducing Deer-Vehicle Collisions*. Wildl. Soc. Bull. 25 : 809-818.

Lerner, N.D., R.E. Llaneras, H.W. McGee et D.E. Stephens. 2002. *Traffic-Control Devices for Passive Railroad Highway Grade Crossing*. Transportation research board, Nation research council, National cooperative highway research program, report-470, 42 p.

Lesage, L. 2001. *Utilisation de l'habitat estival, migration et philopatrie chez le cerf de Virginie (Odocoileus virginianus) du sud-est québécois*. Nat. Can. 125 : 24-33.

Lo, A. 2000. « Wildlife controls and testing from a road agency's perspective », dans *Driving Safety R&D Forum: Ways and Means to Reduce Wildlife/Vehicle Strikes on an Industry-wide basis*, 7 décembre 2000, Calgary, Petroleum Technology Alliance Canada, [en ligne], adresse URL : <http://www.ptac.org/search1.html>

Löffling, T. et J. Thorson. 1988. « Greenhouse Impacts : Windshields, A-pillars and Roofs of Passenger Cars in Simulated Car-Moose Collisions », dans *The 32nd Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine, September 12-14 1988, Seattle, Washington*, p. 25-38.

Lövsund, P., G. Nilson, M.Y. Svensson et J.G. Terins. 1990. « Passenger Car Crash Worthiness in Moose/Car Collisions », dans *The 12th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicle*, p. 410-415.

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.

Magnac-Winterton, M.-P., C. Cibien, J.Y. Puyo et Y. Riou. 1998. « Projet d'aménagement global des RN6 et RN7 en forêt de Fontainebleau : Comment réconcilier trafic routier, circulation de la faune et tourisme », dans *Les actes du colloque Routes et faune sauvage, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 30 sept.-2 oct. 1998*, p. 253-263.

Mah, A. 1989. *Wildlife warning reflectors*, Alberta Transportation and Utilities, Research and Development branch, Alberta, 13 p. et annexes.

Maine Interagency Work Group on Wildlife/Motor Vehicle Collisions (MIWGWMVC). 2001. *Collisions Between Large Wildlife Species and Motor Vehicles in Maine - Interim Report*. MIWGWMVC, interim report, 35 p.

McDonald, M.G. 1989. *Glenn Highway Moose Monitoring Study - Second Annual Progress Report*. Alaska department of Fish and Game, rapport soumis au Alaska Department of Transportation and Public Facilities, 26 p.

McDonald, M.G. 1991. *Moose Movement and Mortality Associated with the Glenn Highway Expansion, Anchorage, Alaska*. *Alces* 27 : 208-219.

McGuire, T. 2000. *If I had a Dollar*. Présentation faite dans le cadre du Wildlife Mortality Workshop, February 8-9, 2000, Highway Service Center, Parks Canada, [en ligne], adresse URL : <http://www.hsctch-twinning.ca/Engineering/Mortality%20Workshop/index.htm>

McNulty, S.A., W.F. Porter, N.E. Mathews et Jennifer A. Hill. 1997. *Localized Management for Reducing White-tailed Deer Populations*. *Wildl. Soc. Bull.* 25 : 265-271.

Menchenton, E. 1999. *Using ElectroBraid™ to Deter Caribou from Hayfields in Cormack, Newfoundland, 1999*. Government of Newfoundland and Labrador, Department of Forestry and Wildlife, Pasadena, Newfoundland, [en ligne], adresse URL : <http://www.electrobraid.com/wildlife/reports/Cormack1.html>

Messmer, T.A. 2000. *The Emergence of Human-Wildlife Conflict Management : Turning Challenges into Opportunities*. *International Biodeterioration and Biodegradation* 45 : 97-102.

Miller, B.K. et J.A. Litvaitis. 1992. *Use of Roadside Salt licks by Moose, Alces alces, in Northern New Hampshire*. *Can. Field-Nat.* 106: 112-117.

Miller, H. 1985. *Moose Vehicle Collisions in Newfoundland*. Department of Transportation, Planning and Research Division, research report no. 34, 40 p. et annexes.

Miller, L.A. et G.J. Killian. 2001. « Seven Years of White-tailed deer Immunocontraceptive Research at Penn State University : a Comparison of Two Vaccines. », dans *Proceedings of the 9th Wildlife Damage Management Conference, (Oct. 5-8, 2000, State College, PA)*, Pennsylvania State University, University Park, PA, p. 60-69.

Ministère de la Sécurité publique du Nouveau-Brunswick. 2002. *Attention : présence d'originaux*. Gouvernement du Nouveau-Brunswick, [en ligne], adresse URL : http://www.gnb.ca/0276/policy/french/moose_f.asp

Ministère des Transports (MTQ). 2001a. *Liste et prix des ouvrages d'infrastructures de transport, publication annuelle, avril 2001*. Ministère des Transports, Direction des contrats et des ressources matérielles, Service de la gestion contractuelle, 276 p.

Ministère des Transports (MTQ). 2001b. *Sécurité routière : Actions 2001-2002*. Ministère des Transports du Québec, [en ligne], adresse URL : <http://www.mtq.gouv.qc.ca/securite/actions/infrastructures.htm#bandes>

Ministère des Transports (MTQ). 2002. *Dans la réserve faunique des Laurentides, la prévention des accidents occasionnés par l'orignal, une question de collaboration*. Brochure du ministère des Transports du Québec, non paginée.

Minnesota Department of Transportation. 2001a. « New Deer Alert System May Lessen Motorist-Deer Collisions in Minnesota », dans *News release of the Minnesota department of Transportation* (12 juin 2001), [en ligne], adresse URL : <http://www.dot.state.mn.us/d8/newsrels/01/0612deeralertsystem.html>.

Minnesota Department of Transportation. 2001b. « Mn/DOT Suspends Deer Alert System Test Near Marshall During Winter Months » dans *News Release of the Minnesota Department of Transportation*, (9 novembre 2001) [en ligne], adresse URL : <http://www.dot.state.mn.us/newsrels/01/11/09deeralert.html>

Muller, S. 1998. « Efficacité des mesures destinées à empêcher la pénétration de la faune dans l'emprise des voies de circulation », dans les actes du colloque *Routes et faune sauvage, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 30 sept.-2 oct. 1998*, p. 203-214.

Müller, S. et G. Berthoud. 1999. *Sécurité faune/trafic – Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils*. École polytechnique fédérale de Lausanne, département de génie civil, Laboratoire des voies de circulation (LAVOC), 125 p.

National Wildlife Research Center (NWRC). 2002. *Induced Infertility : a Wildlife Management Tool*. US Department of Agriculture, National Wildlife Research Center, [en ligne], adresse URL : <http://www.aphis.usda.gov/ws/nwrc/research/immunocontraception.html>

Newfoundland and Labrador Department of Works, Services and Transportation. 2002. *Watch out for Moose on our Highways*. Gouvernement de Terre-Neuve et du Labrador, [en ligne], adresse URL : <http://www.roads.gov.nf.ca/moose/default.stm>

Nolte, D.L. 1998. *Efficacy of Selected Repellents to Deter Deer Browsing on Conifer Seedlings*. International Biodeterioration & Biodegradation. 42 : 101-107.

Nolte, D.L., L.A. Shipley et K.K. Wagner. 2001. « Efficacy of Wolfen to repel black-tailed deer. », *Western Journal of Applied Forestry* 16 : 182-186.

O'Bryan, M.K. et D.R. McCullough. 1985. *Survival of Black-tailed Deer Following Relocation in California*. J. Wildl. Manage. 49 : 115-119.

Olsson, M. 2002. « Evaluation of Wildlife Crossings », dans *The 5th International Moose Symposium, 4-9 August 2002, Haffjell, Norway, Final book of abstracts*, p. 75.

Oosenbrug, S.M., E.W. Mercer et S.H. Ferguson. 1991. *Moose-Vehicle Collision in Newfoundland - Management Considerations for the 1990's*. Alces 27 : 220-225.

Peck, L.J. et J.E. Stahl. 1997. *Deer Management Techniques Employed by the Columbus and Franklin County Park District, Ohio*. Wildl. Soc. Bull. 25 : 440-442.

Pojar, T.M., R.A. Prosenice, D.F. Reed et T.N. Woodard. 1975. *Effectiveness of a Lighted, Animated Deer Crossing Sign*. J. Wildl. Manage. 39 : 87-91.

Poulin, M. 2001a. *Les accidents de la circulation occasionnés par la grande faune sur le territoire de la direction de Chaudière-Appalaches – Bilan statistique 1996 à 2000*. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'Est, Service du soutien technique, 60 p.

Poulin, M. 2001b. *Les accidents de la circulation occasionnés par la grande faune dans la Réserve faunique des Laurentides – Bilan comparatif 1991 à 1995 et 1996 à 2000*. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'Est, Service du soutien technique, 33 p.

Poulin, M. 2001c. *Zones accidentogènes impliquant la grande faune - Analyse de la problématique et avenues de solutions - Municipalités de Saint-Jacques de Leeds, Kinnear's Mills et Pontbriand*. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'Est, Service du soutien technique, 40 p.

Poulin, M. 2001d. *Projet de clôture électrique destinée à contrôler la circulation des orignaux dans l'emprise de l'autoroute 11, au Nouveau-Brunswick – Visite du site à l'étude, rapport d'évaluation*. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'Est, 25 p.

Poulin, M. 2002. *Les accidents de la circulation occasionnés par la grande faune sur le territoire de la direction du Bas-Saint-Laurent Gaspésie Îles-de-la-Madeleine – Bilan statistique 1996 à 2000*. Ministère des Transports du Québec, Direction générale de Québec et de l'Est, 45 p.

Poulin, 2003. *La réduction des accidents occasionnés par la grande faune – Projet de recherche sur l'évaluation de diverses mesures d'intervention au Québec*. Ministère des Transports, Direction générale de Québec et de l'Est, Service du soutien technique, 22 p.

Puglisi, M.J., J.S. Lindzey et E.D. Bellis. 1974. *Factors Associated with Highway Mortality of White-tailed Deer*. J. Wildl. Manage. 38 : 799-807.

Putman, R.J. 1997. « Deer and Road Traffic Accidents: Options for Management. », *Journal of Environmental Management* 51: 43-57.

Rathey, T.E. et N.E. Turner. 1991. « Vehicle-Moose Accident in Newfoundland. », *The Journal of Bone and Joint Surgery* 73: 1487-1491.

Read, N. 2002. « Camera Aims to Reduce B.C. Roadkill », dans *Vancouver Sun* (6 février 2002), [en ligne], adresse URL : <http://www.rbpgroup.com/vansun.htm>

Reed, D.F. et T.N. Woodard. 1981. *Effectiveness of Highway Lighting in Reducing Deer-Vehicle Accidents*. J. Wildl. Manage. 45: 721-726.

Reed D.F., T.M. Pojar et T.N. Woodard. 1974a. *Use of One-Way Gates by Mule Deer*. J. Wildl. Manage. 38 : 9-15.

Reed, D.F., T.M. Pojar et T.N. Woodard. 1974b. « Mule deer response to deer guards. » *Journal of Range Management* 27 : 111-113.

Reed, D.F., T.N. Woodard et T.M. Pojar. 1975. *Behavioral Response of Mule Deer to a Highway Underpass*. J. Wildl. Manage. 39: 361-367.

Reed, D.F.; T.N. Woodard et T.D.I. Beck. 1980. « Deer Vehicle Accidents Statewide and Methods and Devices to Reduce Them », dans *Wildlife research report, July 1980 part one*, Colorado division of Wildlife, p. 1-54.

Reed, D.F., T.D.I. Beck et T.N. Woodward. 1982. *Methods of Reducing Deer-Vehicle Accidents : Benefit-cost Analysis*. Wildl. Soc. Bull 10 : 349-354.

Reed, D.F. et A.L. Ward. 1985. « Efficacy of Methods Advocated to Reduce Deer-Vehicle Accidents : Research and Rationale in the USA », dans les actes du colloque *Routes et faune sauvage*, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 5-7 juin 1985, p. 285-293.

Reeve A.T. et S.H. Anderson. 1993. *Ineffectiveness of Swareflex Reflectors at Reducing Deer-Vehicle Collisions*. Wildl. Soc. Bull. 21 : 127-132.

Rogers, E. et D. Premo. 2002. *ElectroBraid™ fencing to exclude white-tailed deer*. White Water Associates inc., Amasa, Michigan, [en ligne], adresse URL : <http://www.electrobraid.com/wildlife/reports/whitewater2.html>

Romans, B. 2001. « Road test : 2000 Cadillac DeVille DTS : Night Vision evaluation » dans *Edmunds.com* (19 novembre 2001), [en ligne], adresse URL : <http://www.edmunds.com/reviews/roadtests/roadtest/44088/page002.html>

Romin, L.A. et L.B. Dalton. 1992. *Lack of Response by Mule Deer to Wildlife Warning Whistles*. Wildl. Soc. Bull 20 : 382-384.

Romin, L.A. and J.A. Bissonette. 1996. *Deer-Vehicle Collisions : Status of State Monitoring Activities and Mitigation Efforts*. Wildl. Soc. Bull. 24 : 276-283.

Rosenberry, C.S., L.I. Muller et M.C. Conner. 2001. *Movable Deer-Proof Fencing*. Wildl. Soc. Bull. 29 : 754-757.

Ruediger, B. 2001. « High, wide, and Handsome : Designing More Effective Wildlife and Fish Crossings for Roads and Highways », dans *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation, Keystone, CO, September 24-28, 2001*. Raleigh, NC, Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University (MarSh 2002), p. 509-516.

Sage, R.W., W.C. Tierson, G.F. Mattfeld et D.F. Behrend. 1983. *White-tailed Deer Visibility and Behavior Along Forest Roads*. J. Wildl. Manage. 47: 940-953.

Sansregret, H. et C. Auger. 2002. *Évaluation du potentiel de la végétation herbacée et arbustive, aux abords de deux routes, en terme de couvert pour la grande faune*. Groupe Conseil AGIR inc., rapport final pour le ministère des Transports du Québec, 12 p. et annexes.

Schafer, J.A. et S.T. Penland. 1985. *Effectiveness of Swareflex Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Accidents*. J. Wildl. Manage. 49 : 774-776.

Seaby, M. 1998. *Wildlife-Vehicle Collisions, Mountain Parks*. Highway Service Center – Parks Canada Agency, [en ligne], adresse URL : <http://www.hsctch-twinning.ca/Engineering/documents/Mtnwap98.pdf>

Sharke, P. 2001. « Let Light be There » dans *Mechanical Engineering* (Juin 2001), [en ligne], adresse URL : <http://www.memagazine.org/backissues/june01/features/letlight/letlight.html>

Shu Roo. 2002. *Shu Roo High Frequency Wildlife Dispersal Systems- How does the Shu Roo Work?* Shu Roo, Van Nuys, Californie, [en ligne], adresse URL : <http://www.shuroo.net/ShuRoo-HowDoesShuRooWork.htm>

Sielecki, L.E. 2001. « Evaluating the Effectiveness of Wildlife Accident Mitigation Installations with the Wildlife Accident Reporting System (WARS) in British Columbia », dans *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation, Keystone, CO, September 24-28, 2001*. Raleigh, NC, Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University (MarSh 2002), p. 473-489.

Skolving, H. 1985. « Traffic Accidents with Moose and Roe-deer in Sweden. Report of Research, Development and Measures », dans les actes du colloque *Routes et faune sauvage, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 5-7 juin 1985*, p. 317-325.

Strieter Corporation. 2002. *Strieter-Lite® – Costs*. Strieter Corporation, [en ligne], adresse URL : <http://www.strieter-lite.com/costs.php>

Théorêt, X., P. Cliche et A. Royer. 2002. *Réponse spectrale d'un réflecteur Swareflex*. Rapport présenté au ministère des Transports, Centre d'applications et de recherches en télédétection, Université de Sherbrooke, 23 p.

Tremblay, M. 2001. « La signalisation horizontale », dans *INFO-DLC*, vol. 6 (mars 2001), ministère des Transports, Direction du Laboratoire des chaussées, bulletin d'information technique, 2 p.

Trombulak, S.C. et C.A. Frissell. 2000. *Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities*. Conservation Biology. 14: 18-30.

Ujvari, M., H.J. Baagøe et A.B. Madsen. 1998. *Effectiveness of Wildlife Warning Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Collisions : a Behavioral Study*. J. Wildl. Manage. 62 : 1094-1099.

Van Manen, F.T., M.D. Jones et B.K. Scheick. 2001. « Determining the Potential Mitigation Effects of Wildlife Passageways on Black Bears », dans *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation, Keystone, CO, September 24-28, 2001*. Raleigh, NC, Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University (MarSh 2002), p. 435-446.

Van-Riper, R. 2001. « Wildlife/Motorist Vehicle Collisions in Maine: Current Status and Mitigation Opportunities », dans *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation, Keystone, CO, September 24-28, 2001*. Raleigh, NC: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University (Marsh 2002): 603.

Vignon, V. et S. Walczak. 1998. « Réhabilitation d'un passage à faune sous infrastructures jumelées (TGV et autoroute) jusque-là non utilisé par les ongulés sauvages (cerf, chevreuil, sanglier) : Le cas du passage de la Bate (tronc commun des autoroutes A10/A11) », dans les actes du colloque *Routes et faune sauvage, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 30 sept.-2 oct. 1998*, pp. 237-251.

Wagner, K.K. et D.L. Nolte. 2001. *Comparison of Active Ingredients and Delivery Systems in Deer Repellents*. Wildl. Soc. Bull. 29 : 322-330.

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. Griffiths et M.E. Vaughn. 1991. « White-tailed Deer Roadside Behavior, Wildlife Warning Reflectors, and Highway Mortality. », *Applied Animal Behaviour Science* 29 : 215-223.

Warren, R.J. 1997. « Deer Population Management through Hunting and Alternative Means of Control », dans *Proceedings of a Conference on Deer as Public Goods and Public Nuisance : Issues and Policy Options in Maryland*, Center for Agricultural and Natural Resource Policy, University of Maryland, 27 octobre 1997, non paginé, [en ligne], adresse URL : <http://www.arec.umd.edu/Policycenter/deer-Management-in-Maryland/warren.htm>

Washington Department of Fish and Wildlife (WDFW). 2000. « New Signs Flash Elk Warning to Motorists », dans *WDFW News Release* (25 mai 2000), [en ligne], adresse URL : <http://www.wa.gov/wdfw/do/may00/may2500a.htm>

Western Transportation Institute (WTI). 2001. *Xccelerated Advance Warning Device, Camden State Park, Minnesota*. Western Transportation Institute, Montana State University, Bozeman, Montana, [en ligne], adresse URL : http://www.coe.montana.edu/wti/wti/animal_proj/minnesota/x.htm

Wicks, G. 2002. *Moose exclusion with ElectrobraiTM Fence, 2000-2001*. Newfoundland Department of Agriculture, Crop insurance agency, [en ligne], adresse URL : <http://www.electrobraid.com/wildlife/reports/WicksReport2.html>

Wood, P. et M.L. Wolfe. 1988. « Intercept Feeding as a Mean of Reducing Deer-Vehicle Collisions. », *Wildl. Soc. Bull.* 16 : 376-380.

Woodham, D. 1991. *Evaluation of Swareflex Wildlife Warning Reflectors*. Colorado Department of Highways, Denver, Colorado, 6 p. et annexes.

Woodruff, R.A. et J.S. Green. 1995. « Livestock Herding Dogs : a Unique Application for Wildlife Damage Management », dans *Proceedings of 12th Great Plains Wildlife Damage Control Workshop, Ardmore, Oklahoma*, p. 43-45.

WSDOT. 2002. « Deer Laser Warning Beacon Test Begins on US 97A », dans *WSDOT News* (23 octobre 2002), Washington State Department of Transportation, <http://www.wsdot.wa.gov/news/oct02/us97deerwarning.htm>

Zacks, J.L. 1985. *An Investigation of Swareflex Wildlife Warning Reflectors*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration and Michigan Department of Transportation, 41 p. et annexes.

Les recommandations



Par : *Marius Poulin, chargé de projet*

Service du soutien technique
Direction générale de Québec et de l'Est



3. Recommandations

3.1. Problématique

La revue de littérature nous a permis de distinguer 26 groupes de mesures de mitigation visant à réduire le nombre d'accidents avec la faune. Certaines de ces mesures (16/26) peuvent être utilisées comme techniques d'intervention par le ministère des Transports. D'autres cependant ne peuvent pas l'être parce qu'elles relèvent de la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ), qui est chargée de la gestion des populations animales. C'est notamment le cas de la chasse intensive, de la relocalisation des cervidés, de la restauration des prédateurs, du contrôle de la fertilité, de l'abattage ainsi que de l'alimentation artificielle (Tab. 2). Les répulsifs lumineux ou sonores et l'effarouchement, quant à eux, sont considérés inefficaces. Quant aux produits de recharge au sel de déglacage, leur efficacité relative ou leur coût trop élevé ne nous permettent pas actuellement d'en envisager l'utilisation. En outre, même s'il existait un produit de remplacement, l'impact de cette mesure sur le nombre d'accidents impliquant la grande faune serait très faible. En effet, la présence d'eau saumâtre en bordure des routes n'attire qu'occasionnellement et de façon très localisée les cervidés cette problématique est peu importante à l'échelle provinciale. Il est donc préférable de résoudre localement le problème lorsqu'il se présente. Des 26 groupes de mesures d'intervention possibles, 11 ne peuvent donc être utilisées par le Ministère.



Tableau 2 : Liste des mesures utilisables au Ministère

MESURES		Utilisable par le MTQ	
		OUI	NON
1	Clôture traditionnelle	√	--
2	Structure de franchissement anti-ongulés	√	--
3	Passages supérieur et inférieur	√	--
4	Traverse sur la chaussée	√	--
5	Chasse intensive	--	√
6	Relocalisation des cervidés	--	√
7	Restauration des prédateurs	--	√
8	Contrôle de la fertilité	--	√
9a	Abattage professionnel	--	√
9b	Capture et euthanasie	--	√
10	Clôture électrique	√	--
11	Répulsifs lumineux	--	√
12	Répulsifs chimiques	√	--
13	Répulsifs sonores	--	√
14	Effarouchage	--	√
15	Dégagement et contrôle de la végétation	√	
16	Alimentation artificielle	--	√
17	Solution de rechange au sel de déglacage	--	√
18	Aménagement des mares salines	√	--
19	Panneau de signalisation statique	√	--
20	Bandes rugueuses	√	--
21	Réduction de la limite de vitesse	√	--
22	Sensibilisation et éducation des conducteurs	√	--
23	Éclairage	√	--
24	Caractéristiques de la route	√	--
25	Élargissement des bords de route	√	--
26	Systèmes de transport intelligents	√	--

De façon générale, le ministère des Transports peut agir sur trois plans pour réduire le nombre d'accidents impliquant la grande faune.

- 1) Le Ministère peut agir au niveau de l'utilisateur de la route, par des campagnes de sensibilisation dans les journaux, la radio, la télévision, etc., pour l'inciter à la prudence et à la vigilance. Le Ministère peut également réduire la vitesse permise sur les tronçons de route particulièrement à risque.
- 2) Le Ministère peut aussi agir au niveau de l'animal même, en tentant de modifier son comportement. On cherchera alors à lui faire perdre l'habitude de venir fréquenter les abords d'une route par la destruction des mares salines qu'il fréquente ou par l'élimination des espèces végétales qu'il recherche. Dans le cas de la destruction des mares salines, le Ministère aménage

en forêt des salines de compensation. Ces techniques sont notamment utilisées dans la réserve faunique des Laurentides pour réduire le nombre d'accidents occasionnés par l'orignal.

- 3) Le Ministère peut finalement agir en modifiant ses méthodes de travail ou en utilisant diverses techniques. À titre d'exemples, il peut modifier ses méthodes de drainage pour éviter l'accumulation d'eau saumâtre en bordure des routes et augmenter la visibilité aux abords de la route par le contrôle de la végétation. Il peut également utiliser une signalisation de danger plus efficace et installer des clôtures pour contrôler la circulation des cervidés. C'est en fait sur ce plan que le ministère des Transports peut agir le plus efficacement.

Toutes les mesures d'intervention ne sont cependant pas utilisables de façon uniforme sur l'ensemble du réseau routier. En effet, plusieurs obstacles peuvent empêcher le Ministère d'utiliser une technique donnée dans une zone accidentogène. Par exemple, l'utilisation des clôtures métalliques de 2,4 m est rarement possible ailleurs que le long des autoroutes. Sur les routes numérotées qui traversent des terrains privés, le grand nombre d'accès aux propriétés ainsi que la présence de nombreux bâtiments empêchent d'utiliser cette technique.

Chaque zone accidentogène délimitée à partir du bilan statistique d'une région doit, dans un premier temps, faire l'objet d'une investigation. C'est à cette étape que les caractéristiques du milieu ainsi que les divers obstacles rencontrés sont pris en compte dans le choix des mesures d'intervention. Parmi les mesures jugées utilisables, le choix final devra ensuite être basé sur une analyse avantages-coûts démontrant le bien fondé des mesures proposées.

Il n'existe évidemment pas de solution miracle pour réduire le nombre d'accidents impliquant la grande faune, c'est souvent un ensemble de mesures seront donc généralement proposées aux gestionnaires.

Afin d'illustrer la démarche, voici un cas théorique :

Une route numérotée traverse un ravage de cerfs de Virginie, ce qui cause à chaque hiver plusieurs accidents dans une zone de 5 km. Le terrain ne se prête pas à l'installation d'une clôture, en raison des nombreux accès à des résidences qu'on retrouve le long de la route. Les solutions retenues sont :

- 1) L'installation d'une signalisation spéciale aux extrémités de la zone à risque incluant l'utilisation de stries dans la chaussée pour favoriser la prise en compte des panneaux.
- 2) L'éclairage de la zone par l'installation de luminaires sur les poteaux du réseau électrique déjà en place.
- 3) Une campagne médiatique régionale organisée en décembre de chaque année, comportant des messages dans les hebdomadaires locaux ainsi que la distribution d'une affiche de sensibilisation dans les commerces de la région.

Une analyse avantages-coûts démontre qu'une réduction de 0,5 accident/kilomètre/année serait suffisante pour justifier les investissements requis pour cinq ans. Comme il se produit en moyenne

20 accidents par année à cet endroit et qu'une réduction d'environ 25 % serait jugée satisfaisante, le choix de ces mesures semble tout à fait pertinent. En effet, avec une réduction moyenne de 5 accidents par année sur l'ensemble de la zone de 5 kilomètres, les frais de la mise en place des mesures seraient couverts en 2,5 ans.

Cet exemple théorique illustre un cas relativement simple, où le choix des mesures s'est tout de même fait à partir d'une analyse globale de la situation. Le tableau 3 présente les mesures utilisables en fonction du type de route.



Tableau 3 : Mesures de mitigation utilisables en fonction du type de route

Types de mesures		Types de routes		Remarques
		Route numérotée	Autoroute	
1	Clôture traditionnelle	NA	A	Très coûteux pour la pose et l'entretien.
2	Structure de franchissement anti-ongulés			
3	Passages supérieur et inférieur			
4	Traverse sur la chaussée	DA	NA	En association avec une clôture. Non applicable sur les autoroutes. Nécessite une signalisation spéciale.
10	Clôture électrique	DA	A	Technique très efficace. Évaluation en cours.
12	Répulsifs chimiques	A	A	Pour une utilisation locale réduite.
15	Dégagement et contrôle de la végétation	A	A	Méthode relativement peu coûteuse lorsque utilisée pour augmenter la visibilité.
18	Aménagement des mares salines	A	A	Évaluation en cours
19	Panneau de signalisation statique	A	A	Peu coûteux mais à efficacité limitée.
20	Bandes rugueuses	A	NA	Pour augmenter l'attention des usagers à l'égard de la signalisation.
21	Réduction de la limite de vitesse	DA	NA	Provoque beaucoup de critiques négatives.
22	Sensibilisation et éducation des conducteurs	A	A	Efficacité limitée. Technique à utiliser en association avec d'autres.
23	Éclairage	A	NA	Peu coûteux, à utiliser avec d'autres techniques. Non applicable sur les autoroutes en raison du type de luminaire à utiliser.
24 25	Modification des caractéristiques de la route Élargissement des bords de route	A	A	À prévoir à l'étape de la conception de la route.
26	Systèmes de transport intelligents	A	NA	Évaluation en cours.

A: Applicable, **DA:** Difficilement applicable, **NA:** Non applicable

Comme le montre le tableau 3, sur les 16 mesures de mitigation potentiellement utilisables, cinq ne sont pas utilisables sur les autoroutes. En ce qui concerne les routes numérotées, six mesures n'y sont pas applicables ou le sont difficilement. La prochaine section traitera sommairement de l'ensemble des ces mesures et de leur utilisation potentielle par le Ministère.

3.2. Mesures utilisables au ministère des Transports

Comme nous l'avons mentionné précédemment, plusieurs mesures de mitigation ne peuvent être utilisées par le Ministère, car elles relèvent de la compétence de la Société de la faune et des parcs du Québec. La présente section se limitera donc aux mesures utilisables par le ministère de Transports.

3.2.1. Clôture métallique (mesure n° 1)

La clôture métallique est utilisée dans plusieurs pays depuis de nombreuses années pour contrôler la circulation de la faune le long des routes. Lorsqu'elle est bien installée et qu'un suivi rigoureux est réalisé, la clôture métallique de 2,4 m de hauteur est généralement efficace. Pour les cervidés, une réduction du nombre d'accidents de 80 % et plus est prévisible avec ce genre de mesure. Cependant, l'installation d'une clôture métallique n'est pas simple. Cela demande notamment une excellente préparation du terrain; il faut en outre s'assurer qu'aucun espace ne subsiste au bas de la clôture, car les cerfs de Virginie s'en serviraient pour la franchir. Puisqu'un cerf ou un orignal peuvent éventuellement réussir à pénétrer dans le corridor clôturé, il faut également munir la clôture de structures permettant à une bête prisonnière de retourner en forêt (promontoires ou portillons à sens unique). Ces structures doivent être installées à environ tous les kilomètres, ce qui entraîne des coûts supplémentaires importants. Puisque l'installation d'une clôture devra normalement s'étendre sur plusieurs kilomètres de route, il faut également incorporer au projet un ou plusieurs passages à faune (mesure n° 3). Ceux-ci peuvent être construits sous la route ou au-dessus. La meilleure façon de les aménager est d'utiliser les ponts lorsque cela est possible. Il faut alors s'assurer d'aménager les rives du cours d'eau de façon à ce qu'il y ait un dégagement vertical d'au moins 3 mètres, un corridor de circulation d'au moins 2 mètres et un dégagement horizontal de 4 mètres et plus à la hauteur du garrot. Ce type de passage est le moins coûteux et il s'avère généralement très efficace en raison du comportement des cervidés, qui utilisent régulièrement les rives des cours d'eau pour circuler. Si aucun pont ne peut être utilisé et qu'il est nécessaire de construire des structures spécialement pour les cervidés, les coûts de la mesure sont alors nettement plus élevés.

L'utilisation de la clôture métallique de 2,4 m est donc une mesure qui demande une préparation minutieuse pour l'installation et un suivi rigoureux pour s'assurer de son étanchéité. La clôture est très coûteuse à l'achat et elle entraîne également des coûts élevés pour le suivi et l'entretien. Utilisée sur de longues distances, elle a des répercussions environnementales importantes, car elle constitue une barrière à la libre circulation de la faune en général. Elle est également mal accueillie par la population en raison de son impact visuel.

Au Québec, cette mesure ne peut être appliquée ailleurs que sur les autoroutes. Sur le reste du réseau, la présence de nombreux accès aux propriétés privées ou au territoire, sur les terres du domaine public, rend son utilisation difficilement envisageable. En raison de ses nombreux aspects négatifs (coûts très élevés, impact visuel majeur, impact environnemental importants, etc.), cette mesure ne devrait être utilisée qu'en tout dernier recours et à des endroits où les risques d'accidents sont très élevés. Avant les années 2000, cette mesure était la plus efficace pour les grandes routes. La technologie nous offre aujourd'hui une solution plus intéressante : la clôture électrifiée.

3.2.2. Clôture électrique (mesure n° 10)

Au cours des dernières années, un nouveau type de clôture destinée au contrôle de la circulation des cervidés est apparu sur le marché. L'entreprise Electrobraid Fence d'Halifax, en Nouvelle-Écosse, a en effet conçu un système de clôture électrique basé sur une structure en fibre de verre et un système de câblage très résistant et flexible.

De nombreux projets d'exclusion ont jusqu'ici démontré l'efficacité de ce système pour contrôler la circulation des cervidés. Au Nouveau-Brunswick, une étude sur le contrôle de la circulation des orignaux le long de l'autoroute 11 a été mise sur pied à la fin 2000. L'évaluation devait durer trois ans, mais déjà après deux ans les résultats étaient très prometteurs. En effet, un seul cas d'accident impliquant un orignal était survenu sur le tronçon clôturé de 5 kilomètres. Pourtant, à tous les ans, la présence d'orignaux est très fréquemment rapportée, mais toujours à l'extérieur des clôtures.

Après consultation auprès des spécialistes du Nouveau-Brunswick, le Ministère a décidé lui aussi d'entreprendre une étude sur l'efficacité de cette clôture. Dans la réserve faunique des Laurentides, un premier tronçon de 5 km sur la route 175 sera aménagé à compter de mai 2003. Les évaluations seront réalisées par des chercheurs de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), en association avec la FAPAQ et le Ministère.

À l'automne 2003, un deuxième tronçon de 10 km sera également clôturé, cette fois sur la route 169. Encore là, les analyses seront réalisées par l'équipe de chercheurs de l'UQAR. Pour ces deux études, le même type de structure qu'au Nouveau-Brunswick sera utilisé. Il s'agit d'une clôture comprenant cinq câbles installés sur des poteaux en fibre de verre.

L'efficacité pour contrôler la circulation des orignaux sera évaluée et également plusieurs autres aspects, notamment le contrôle de la végétation sous la clôture, les coûts de son installation et de son entretien, etc. Le Ministère en profitera également pour évaluer l'aménagement de portes pour maintenir l'accès au

territoire, l'utilisation de systèmes de détection pour actionner des panneaux lumineux, l'aménagement de traverses, ainsi que l'installation de structures de franchissement anti-ongulés.

Parallèlement à ces études, le Ministère travaille à la mise au point d'une clôture mixte, électrique et métallique, destinée aux abords des autoroutes. La conception de cette clôture est particulier : il permet, grâce à deux câbles électriques, de transformer la clôture métallique utilisée le long des autoroutes, en une clôture pour le contrôle des cerfs de Virginie. L'évaluation sur une courte section de ce type de clôture à l'hiver 2002-2003 s'est avérée très positive. Les résultats obtenus ont dépassé largement les attentes. Un rapport d'étape est prévu pour l'été 2003.

Le Ministère prévoit en outre pour 2004 la réalisation de la seconde phase de l'évaluation, qui lui permettra de mesurer l'efficacité réelle de ce type de clôture pour le contrôle de la circulation des cerfs de Virginie le long des autoroutes.





D'après les évaluations qui ont été faites, la clôture électrique, ou électrique-métallique, est la mesure qui offre le plus d'avantages :

- 1) Ses coûts d'installation sont minimales (moins de 25 % des coûts de la clôture métallique).
- 2) Son efficacité est essentiellement basée sur l'aspect cognitif du comportement animal et non sur l'érection d'un mur quasi infranchissable pour la faune. La clôture n'a donc pas à être étanche et elle permet par conséquent la libre circulation de la petite faune.
- 3) Comme la clôture n'est pas très haute, il n'est pas nécessaire d'y ajouter des promontoires ou d'autres structures pour permettre que les cerfs ou les orignaux puissent retourner dans la forêt. Une bête stressée peut facilement la franchir en sautant par dessus.
- 4) Ce type de clôture est discret : grâce à sa conception très aérée et à sa faible hauteur elle se fond dans le paysage.
- 5) Un haut voltage, mais un très faible ampérage, associé au fait que le courant est pulsé en millièmes de seconde, assure à ce type de clôture son efficacité tout en garantissant sa sécurité d'utilisation. Selon les renseignements fournis par le fabricant, la clôture respecte les normes canadiennes et américaines (CSA et UL).

- 6) Ce type de clôture peut facilement être installé en bordure des plans d'eau et même en surplomb des cours d'eau, ce qui n'est pas le cas pour la clôture métallique.
- 7) Puisque son efficacité est due à la peur provoquée chez l'animal, cette clôture peut facilement être adaptée aux particularités du terrain. Ainsi, on peut ne pas clôturer certains endroits (ex. : massif rocheux) sans que cela nuise l'efficacité générale de la clôture.
- 8) La chute d'arbres peut rendre inefficace une clôture métallique en créant une ouverture utilisable par les cervidés. Ce n'est pas le cas avec la clôture électrique, qui demeure fonctionnelle même si un arbre vient écraser les câbles, car les animaux craignent d'utiliser la brèche. Par ailleurs, dans un tel cas, il s'agira simplement de couper l'arbre pour que les câbles reprennent leur place.
- 9) La clôture électrique est efficace même en hiver, en autant qu'au moins un câble actif dépasse la couche de neige. Lorsque la clôture doit être fonctionnelle en hiver en raison de la présence de cervidés, le dernier câble pourrait donc être à 1,8 m du sol, comparativement à 1,5 m normalement. Les tests effectués à l'hiver 2002-2003 tendent à démontrer que les cerfs ne franchissent pas la clôture même lorsque seul le dernier câble est dégagé (souvent à moins de 25 cm de la surface de neige). Dans le cas de la clôture métallique, comme les bêtes n'en ont pas peur, elles essaient régulièrement de la franchir, ce qui est facilité par l'accumulation de neige au sol.
- 10) La surveillance constante de la clôture n'est pas nécessaire, puisque celle-ci peut être munie d'un système d'alarme. Si une chute de tension survient, le système l'évalue et, au besoin, coupe le courant. Un message est alors acheminé par téléphone à un ou plusieurs postes de contrôle.

3.2.3. Répulsifs chimiques (mesure n° 12)

L'utilisation de répulsifs chimiques ne peut être envisagée comme mesure à long terme pour éloigner les cervidés des corridors routiers. Cependant, des progrès récents dans ce domaine pourraient éventuellement permettre l'utilisation de certains produits pour une action rapide et à court terme. Le Ministère envisage d'en évaluer quelques-uns au cours des prochaines années. Cependant, l'utilisation de ces produits devrait se limiter à des cas particuliers, qui ne nécessitent pas une application à grande échelle. De plus, l'utilisation des répulsifs ne devrait pas être répétée sur une longue période.

3.2.4. Contrôle de la végétation (mesure n° 15)

Le contrôle de la végétation en bordure des routes a pour principal objectif d'améliorer la visibilité. Les cervidés ont souvent tendance à utiliser la végétation comme écran visuel, pour approcher la chaussée sans se faire remarquer. Plus la végétation masquera la présence du cerf ou de l'orignal, plus celui-ci se sentira en sécurité et plus grand sera le risque qu'il surgisse rapidement sur la chaussée, sans donner le temps à l'automobiliste d'éviter la collision. Nous avons remarqué que les accidents avec la grande faune surviennent souvent dans les courbes, les pentes et les endroits où la visibilité est réduite par la végétation. À d'autres endroits, toutefois, peu d'accidents surviennent malgré le fait que de nombreux signes

trahissent la présence d'orignaux ou de cerfs en bordure de la route. À ces endroits, la route est droite et la visibilité est excellente sur la route de même qu'en bordure. Bien que nous ne soyons en mesure de le quantifier, nous croyons qu'il existe un rapport entre la visibilité et le nombre d'accidents impliquant la grande faune. Une analyse des caractéristiques des sites accidentogènes est prévue dans le cadre de la recherche effectuée dans la réserve faunique des Laurentides par les chercheurs de l'UQAR.

À l'automne 2002, le Ministère a demandé à la firme AGIR Inc. d'effectuer une première analyse de l'impact visuel de la végétation⁽¹⁾. La conclusion est que, dans une zone à risques la végétation devrait être maintenue à une hauteur inférieure à 101 cm pour l'orignal et à 52 cm pour le cerf de Virginie. Par ailleurs, l'utilisation d'arbustes doit être proscrite à proximité de la chaussée et la formation de bosquets d'arbustes doit être évitée quand on procède à la revégétalisation des talus extérieurs. Il faut aussi bien sûr éviter de choisir des espèces végétales attirantes pour les cervidés au moment de la plantation.

Le contrôle de la végétation en bordure des routes est une mesure relativement peu coûteuse, qui devrait être utilisée lorsque c'est possible dans les zones à risque. Elle a cependant le désavantage de devoir être répétée. C'est une mesure qui doit en outre être utilisée en association avec d'autres.

3.2.5. Aménagement des mares salines (mesure n° 18)

Depuis 1998, dans la réserve faunique des Laurentides, le Ministère a créé un réseau de salines de compensation en forêt. Ce réseau a été aménagé parallèlement à des travaux visant à éliminer les mares salines fréquentées par l'orignal en bordure des routes 169 et 175. Jusqu'à présent, la technique semble donner de bons résultats. Les salines en forêt sont fréquentées par l'orignal, et les sites réaménagés en bordure de la route semblent moins fréquentés. À compter de mai 2003, une évaluation de l'efficacité de ces mesures sera entreprise par les chercheurs de l'UQAR en collaboration avec la FAPAQ et le Ministère. Les résultats sont attendus pour 2005.

3.2.6. Signalisation statique (mesure n° 19)

Les panneaux de danger destinés à signaler la présence potentielle de cervidés sur la chaussée sont utilisés partout dans le monde. Cependant, leur efficacité est limitée. Il faut donc chercher à améliorer ce genre de signalisation et, surtout, ne l'utiliser qu'aux endroits considérés à risque.

À titre d'exemple, dans la réserve faunique des Laurentides, la signalisation de danger a été révisée. Les zones où il y a risque de collision avec un orignal ont été bien délimitées et de nouveaux panneaux y ont

⁽¹⁾ Sansregret, H. et C. Auger. 2002. *Évaluation du potentiel de la végétation herbacée et arbustive aux abords de deux routes, en terme de couvert de recouvrement pour la grande faune*. Groupe-Conseil AGIR Inc, rapport final réalisé pour le ministère des Transports du Québec, 12 p. et annexes.

été installés. Ces panneaux sont de grande dimension (1 200 x 1 200) et leur pellicule est de type 5 « Grade Diamant ». Ils sont superposés à deux panneaux : le premier indique le niveau de risque (ex. : « Risque très élevé »), et le second la longueur de la zone (ex. : 5 km).



Ces panneaux sont beaucoup plus faciles à remarquer étant donné leur dimension et la qualité de la pellicule utilisée. L'évaluation du risque et l'indication de la longueur de la zone contribuent également, selon nous, à attirer l'attention des usagers de la route.

Bien qu'améliorée, cette signalisation statique demeure une mesure à l'efficacité limitée. Elle devrait par conséquent être utilisée en association avec d'autres (ex. : débroussaillage des talus, éclairage, etc.).

3.2.7. Utilisation de bandes rugueuses (mesure n° 20)

L'utilisation de bandes rugueuses sur la chaussée est destinée à attirer l'attention des usagers de la route sur la signalisation de danger. Par exemple, pour augmenter la probabilité qu'un panneau signalant une zone à risques de collision avec un orignal soit remarqué, une série de bandes rugueuses pourrait être installée sur la chaussée, en aval du panneau.

Il existe une panoplie de combinaisons possibles à la dimension des stries creusées dans la chaussée et à leur répartition longitudinale. Le principe est cependant toujours le même : le véhicule vibre au moment où il passe sur la série de bandes rugueuses. La quantité de stries dans les groupes, peut varier de l'un à l'autre, tout comme la distance entre chacun. Au ministère des Transports, il n'existe pas encore de normes à cet égard. Les spécialistes en sécurité routière de chaque direction territoriale sont cependant à même de choisir la combinaison adaptée au problème à résoudre sur leur réseau.

En raison du bruit occasionné par le passage des véhicules sur les bandes rugueuses, cette mesure ne peut toutefois être utilisée partout. La proximité des résidences est notamment un facteur important à considérer : la quiétude des résidents doit toujours être prise en compte. Pour que cette mesure demeure efficace, il faut aussi éviter de la surutiliser.

3.2.8. Réduction de la limite de vitesse (mesure n° 21)

À certains endroits particulièrement à risque, le ministère des Transports pourrait décider de diminuer la vitesse permise. L'objectif visé par cette mesure est d'augmenter le temps de réaction de l'automobiliste qui doit éviter une bête qui surgit sur la chaussée.

Cette mesure est toutefois mal acceptée et peut être coûteuse à faire respecter, c'est pourquoi elle ne devrait être utilisée qu'à certains endroits bien délimités et sur de courtes distances. Elle ne peut absolument pas être appliquée sur l'ensemble du réseau. Toutefois, de façon locale et en combinaison avec d'autres mesures (ex. : campagne médiatique, signalisation spéciale, éclairage du tronçon concerné, etc.), elle peut certainement contribuer à diminuer le nombre d'accidents avec la grande faune.

3.2.9. Sensibilisation des conducteurs (mesure n° 22)

La sensibilisation et l'éducation des conducteurs, sous diverses formes, est une mesure qui doit être utilisée de façon constante. Son efficacité pour prévenir les accidents est toutefois difficilement mesurable.

Cette mesure relève du domaine de la communication publique. Divers messages peuvent être véhiculés par le biais de différents médiums. Dans chacune des directions territoriales, du personnel spécialisé est en mesure de planifier et de mettre en oeuvre diverses stratégies de communication, adaptées aux objectifs recherchés.



3.2.10. Éclairage de la route (mesure n° 23)

La visibilité constitue selon nous un facteur important dans la prévention des accidents impliquant la grande faune. La présence d'une végétation dense en bordure de la chaussée, un profil vallonneux ou une sinuosité prononcée de la route, par exemple, nuisent à la qualité de la visibilité. Des recherches menées conjointement par l'UQAR, le Ministère et la FAPAQ permettront d'évaluer l'importance de ces facteurs comme causes d'accidents. Quoi qu'il en soit, la luminosité est selon nous un des facteurs les plus importants. Il est évident que la distance à partir de laquelle on peut apercevoir un obstacle sur la chaussée sera grandement réduite en période d'obscurité. Or on sait que les cervidés sont principalement actifs du crépuscule à l'aube. Les accidents avec la grande faune surviennent d'ailleurs en grande partie à cette période de la journée.

Pour réduire le nombre d'accidents dans une zone à risque, l'éclairage de la route (lorsqu'il est possible) est certainement une mesure efficace. C'est en outre une mesure relativement peu coûteuse, qui doit cependant, encore une fois, être utilisée avec d'autres mesures choisies en fonction de chaque cas particulier.

3.2.11. Amélioration des caractéristiques de la route (mesures n° 24 et 25)

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la visibilité est un facteur important à considérer dans l'analyse des causes des accidents. Une portion de route sinueuse avec un profil vertical prononcé offrira une visibilité réduite. Malheureusement, les cervidés choisissent parfois ces endroits pour traverser une route. Ils s'y sentent probablement plus en sécurité, parce que leur champ de vision y est réduit. Il n'est donc pas étonnant de constater qu'une bonne partie des accidents surviennent dans ces endroits.

Lorsque des corrections à une route sont prévues, il est important de vérifier s'il y a un problème d'accidents avec la grande faune dans le secteur. Lorsque c'est le cas, il faut en tenir compte dans la planification des travaux. Deux grands facteurs doivent alors être considérés : la visibilité et le drainage routier.

La visibilité sera optimale lorsque la route sera la plus droite possible, avec des talus bien dégagés. Le drainage doit aussi permettre d'évacuer les eaux de surface, de manière à ne pas créer des mares d'eau stagnantes susceptibles de devenir salées. Dans certaines régions, ce facteur sera particulièrement important. Ainsi, les routes qui traversent des réserves fauniques où l'on trouve de bonnes populations d'orignaux ou de cerfs de Virginie sont évidemment plus à risque. En effet, dans ces endroits, les cervidés, qui sont plus enclins à fréquenter les fossés à la recherche d'eau saumâtre, ont tendance à s'approcher des abords de la route, ce qui entraîne un nombre plus élevé d'accidents.

Lorsque des travaux routiers sont réalisés dans une zone très à risque, on devrait prévoir la mise en place de clôtures et de tous les aménagements nécessaires : passage pour la faune, corridor pour installer la clôture, structure de franchissement anti-ongulés, etc.

L'amélioration des caractéristiques d'une route à l'occasion de travaux routiers peut avoir un effet très positif sur la diminution du nombre d'accidents impliquant la grande faune. Il faut donc profiter de ces travaux pour corriger les problèmes et mettre en place les mesures appropriées.

3.2.12. Installation d'une signalisation dynamique (mesure n° 26)

On entend par signalisation dynamique, une signalisation déclenchée par la présence d'une bête en bordure de la chaussée. Il s'agit en fait d'un système de détection qui, lorsqu'il est activé par la présence d'une bête, met en marche des panneaux à voyants ou à messages lumineux.

Au Québec, le ministère des Transports travaille actuellement à la mise au point d'un système de détection au laser. Des essais sont prévus dans la réserve faunique des Laurentides pour 2004. Dans l'Ouest

canadien, on travaille à la mise au point d'un système de caméras qui détecteront la présence des cervidés. Le système n'est toutefois pas encore commercialisé. Lorsqu'il le sera, le Ministère prévoit en faire l'évaluation.

Ce type de signalisation ne pourra toutefois être utilisé qu'aux endroits où le terrain s'y prête et où la distance à couvrir est restreinte. Actuellement, il est difficilement envisageable de l'utiliser sur de grandes distances. Dans un premier temps, le Ministère ne prévoit la mise à l'essai de cette signalisation qu'à des fins précises : traverses d'originaux à l'intérieur de sections clôturées et aux extrémités de celles-ci. À plus long terme, ce type de signalisation pourrait être installé ailleurs sur le réseau lorsqu'il sera possible de le faire.



3.3. Discussion et conclusion

Lorsque le ministère des Transports désire réduire le nombre d'accidents impliquant la grande faune sur son réseau, diverses mesures de mitigation peuvent être utilisées. Le choix des mesures dépend d'un certain nombre de paramètres liés à l'ampleur du problème, au type de route, au type de milieu, aux objectifs visés, aux budgets disponibles, etc. Le plan d'action doit notamment comprendre une analyse avantages-coûts pour s'assurer que le coût des mesures choisies se justifie par les bénéfices escomptés.

Afin de faciliter le choix des mesures à mettre en place, une grille d'analyse décisionnelle a été conçue. Elle est basée sur l'indice d'importance relative (*Ir*), déterminé pour chacune des zones accidentogènes à partir du bilan statistique de la direction territoriale. Cet indice s'exprime comme suit :

***Ir* : Importance relative**

Si $X \geq 3$ alors ***Ir* = 1**

Si $2 \leq X < 3$ alors ***Ir* = 2**

Si $1 \leq X < 2$ alors ***Ir* = 3**

Où *X* = nombre moyen d'accidents/1 000 mètres de route/année.

Pour qu'une zone soit considérée comme accidentogène, l'indice *Ir* doit être de 1 ou 2, c'est-à-dire que la zone doit présenter une moyenne annuelle de deux accidents ou plus pour chaque kilomètre de route.

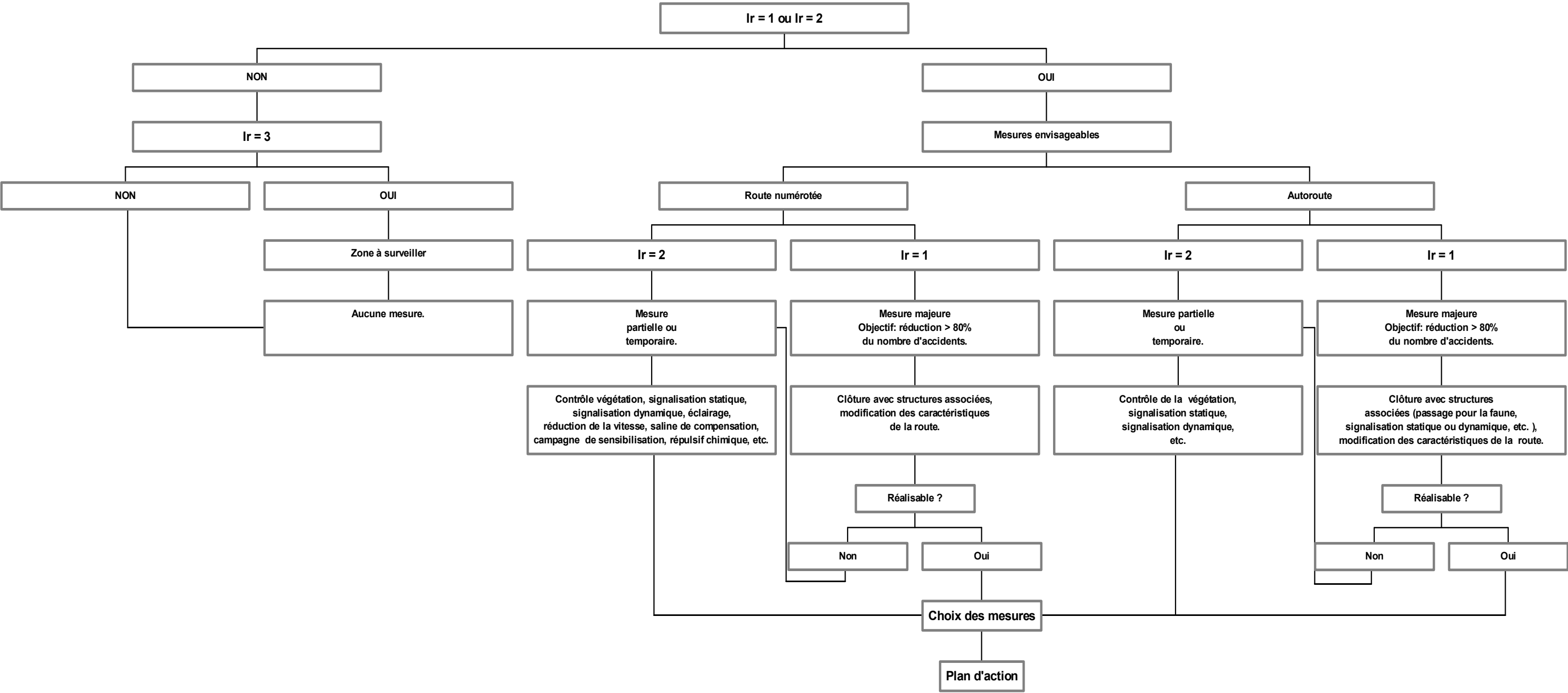
Pour certaines directions territoriales, il peut exister plusieurs zones accidentogènes ayant un *Ir* = 1. Parmi celles-ci, plusieurs peuvent présenter une moyenne annuelle de plus de trois accidents au kilomètre. Quand la grille d'analyse décisionnelle donne l'indice *Ir* = 1, on suggère de vérifier s'il est nécessaire de mettre en place des mesures majeures. Des raisons physiques ou budgétaires peuvent toutefois s'y opposer. On vérifie alors si des mesures de moindre envergure ne pourraient pas être efficaces. Lorsqu'il existe plusieurs zones où des mesures importantes s'imposent, c'est le gestionnaire du territoire concerné qui établit les priorités.

Les mesures de qui peuvent être utilisées par le Ministère n'ont pas toutes la même efficacité. À titre d'exemple, avec une clôture, on peut s'attendre à réduire d'au moins 80 % le nombre d'accidents. Avec des mesures qui ne contrôlent pas directement la circulation des cervidés, il est évident la réduction du nombre d'accidents sera moindre. Chaque cas est particulier : la décision de mettre des mesures en place à un endroit donné et surtout le choix des mesures reviennent aux gestionnaires du territoire.

Au ministère des Transports, la Direction générale de Québec et de l'Est a entrepris d'évaluer l'efficacité des mesures qui peuvent être utilisées pour réduire le nombre d'accidents avec la grande faune qui se produisent sur son réseau. Depuis 1997, en collaboration avec les Directions de Québec et du Saguenay Lac-Saint-Jean Chibougamau, beaucoup de travaux ont été réalisés dans la réserve faunique des Laurentides afin de réduire le nombre d'accidents occasionnés par la présence d'orignaux. Plusieurs des mesures utilisées sont novatrices. D'ici quelques années, les études menées par le Ministère lui permettront de bien évaluer l'efficacité de ces mesures et de les adapter aux réalités du Québec.

Tableau 4 : Réduction du nombre d'accidents impliquant la grande faune

Grille d'analyse décisionnelle



À la recherche de solutions...



Les accidents routiers impliquant la grande faune sont un problème répandu dans plusieurs régions du monde. Comme l'a montré cette revue de littérature, les moyens d'action disponibles sont aussi nombreux que variés. En effet, le choix de la ou des mesures appropriées repose toujours sur une multitude de critères, d'ordre écologique, humain et économiques, etc. Le choix doit en outre tenir compte des caractéristiques du site et de la nature exacte du problème :

- cause des accidents (densité de population élevée, formation de mares salines au bord de la route, couloir de déplacement naturel, mauvaise visibilité sur la route, habitat propice en bordure de la route, etc.);
- type de route (autoroute, route secondaire, nombre d'embranchements, limite de vitesse, flot de circulation, etc.);
- espèce en cause et problèmes particuliers (orignal, cerf de Virginie, amplitude des déplacements, formation de ravages permanents, risque pour la santé humaine, etc.);
- nature du territoire (réserve faunique, territoire libre, accessibilité, attentes des usagers de la route, etc.);
- conditions atmosphériques et caractéristiques du terrain (accumulation de neige au sol, présence de cours d'eau, topographie, etc.).

Évidemment, en plus de tenir compte de ces critères, la mesure choisie doit :

- être efficace;
- présenter un rapport avantages-coûts intéressant;
- entraîner des coûts d'entretien raisonnables;
- être acceptable aux yeux de la population locale et des usagers de la route;
- être acceptable sur les plans éthique et écologique.

Après avoir considéré tous ces critères, le nombre de mesures envisageables devient plus restreint. De façon générale, les répulsifs visuels, sonores et chimiques sont, de toute façon, peu efficaces à long terme, à cause du phénomène d'habituation. Quant aux méthodes de contrôle biologique (chasse, abattage, capture, contrôle de la fertilité, etc.), en plus d'être peu populaires auprès du public, elles sont difficilement applicables sur de grands territoires et ne relèvent pas de la compétence du Ministère. À l'heure actuelle, il manque de l'information aux gestionnaires pour pouvoir faire des choix éclairés parmi les autres types de mesures. En effet, certaines mesures relativement peu coûteuses, novatrices et prometteuses, comme la clôture électrique, n'ont pas été évaluées sur une base scientifique solide, alors que d'autres n'ont été évaluées que partiellement, avec un dispositif expérimental souvent contestable.

Afin de pallier ce manque de connaissances, un projet de recherche d'envergure visant à analyser la problématique des accidents routiers causés par la présence de l'orignal et à tester certaines mesures, en collaboration avec l'université du Québec à Rimouski et la Société de la faune et des parcs du Québec.

L'orignal est, après le cerf, l'espèce la plus souvent impliquée dans les accidents de la route au Québec. Les accidents avec l'orignal occasionnent en outre des blessures et des dommages matériels importants. Au Québec, la fréquence des accidents routiers avec l'orignal ne semble pas, dans la plupart des cas, être reliée directement à la densité de la population d'originiaux. Les causes de ces accidents sont diverses et peuvent varier d'une région à l'autre. Mais dans les territoires sauvages comme les réserves fauniques, ceux-ci se produisent parfois dans les secteurs où des mares salines se forment le long des routes à la suite de l'accumulation du sel utilisé pour déglacer les routes en hiver.

Plusieurs axes routiers majeurs traversent de grands massifs forestiers fréquentés par l'orignal. Ces secteurs sont souvent sauvages et destinés aux activités récréatives (ex. : les réserves fauniques des Laurentides et de La Vérendrye) : le réseau routier y est bien développé et les populations locales accordent une attention particulière à l'aspect esthétique du paysage. Dans ce contexte, l'aménagement des mares salines en bordure des routes ainsi que l'installation de clôtures électriques avec des passages à faune disposés stratégiquement sur les tronçons de route accidentogènes seraient les solutions les mieux adaptées. Ces mesures sont actuellement mises à l'essai dans la réserve faunique des Laurentides par le ministère des Transport du Québec dans le cadre de son projet de recherche.

Christian Dussault, PhD, attaché de recherche
Société de la faune et des parcs du Québec et
Université du Québec à Rimouski

Réhaume Courtois, PhD, biologiste-chercheur
Société de la faune et des parcs du Québec

Jean-Pierre Ouellet, PhD, professeur-chercheur
Université du Québec à Rimouski