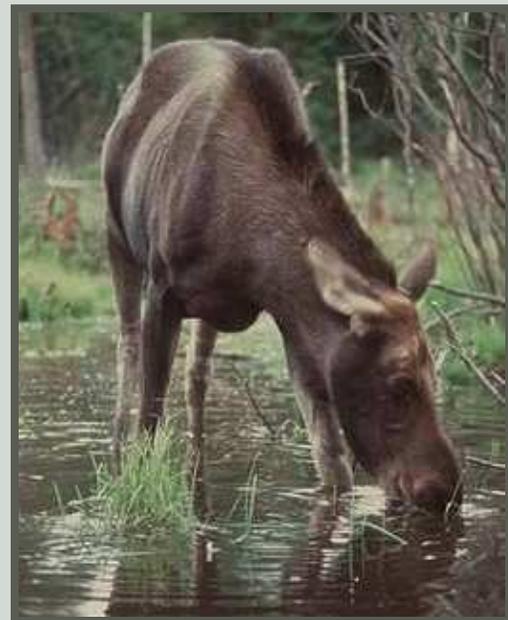


Répartition temporelle et spatiale des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides de 1990 à 2002



Christian Dussault, UQAR-MRNFP
Marius Poulin, MTQ
Réhaume Courtois, MRNFP
Jean-Pierre Ouellet, UQAR

Répartition temporelle et spatiale des accidents routiers impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides de 1990 à 2002

Christian Dussault^{1,2}, Marius Poulin³, Réhaume Courtois¹ et Jean-Pierre Ouellet²

¹ Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune.

² Université du Québec à Rimouski, Département de biologie.

³ Ministère des Transports du Québec, Service du soutien technique, Direction générale de Québec et de l'Est.

Québec, Québec

Février 2004

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	2
1.0 Introduction.....	3
2.0 Site d'étude	6
3.0 Méthodes.....	10
3.1 Information disponible sur les collisions impliquant l'original	10
3.2 Distribution temporelle des accidents routiers.....	12
3.3 Estimation du trafic dans la réserve	15
3.4 Distribution spatiale des accidents routiers.....	16
3.4.1 Variables caractérisant l'habitat	18
3.4.2 Variables caractérisant la topographie	20
3.4.3 Variables caractérisant la visibilité des conducteurs sur la route	22
3.4.4 Variables caractérisant la distribution de l'original	23
4.0 Résultats.....	25
4.1 Répartition temporelle des accidents	25
4.2 Répartition spatiale des accidents	31
5.0 Discussion.....	35
5.1 Répartition temporelle des accidents	35
5.2 Répartition spatiale des accidents	38
6.0 Conclusion	41
Références.....	43

1.0 Introduction

Les accidents routiers impliquant la grande faune constituent un problème méconnu du grand public mais qui est en expansion dans la plupart des régions du monde (Child et al. 1991, Groot Bruinderink et Hazebroek 1996, Romin et Bissonette 1996). Ces accidents se traduisent presque toujours par des dégâts matériels importants et par la mort de l'animal frappé, ainsi que par des blessures graves, voir parfois même la mort, pour les personnes impliquées (Lavsund et Sandegren 1991, Poulin 1999). Aux États-Unis, par exemple, le coût des accidents routiers avec la grande faune a été estimé à >1 milliard US\$ en 1991 (Conover 1997). C'est pourquoi la réduction de l'incidence de ces accidents est un objectif important pour la plupart des juridictions (Joyce et Mahoney 2001).

Afin d'élaborer des mesures de mitigation appropriées et efficaces, il est primordial de bien connaître les facteurs qui influencent l'occurrence des accidents avec la grande faune. Or, bien que la littérature sur le sujet soit abondante, il apparaît impossible d'identifier des caractéristiques universelles à ce phénomène puisqu'il existe d'importantes variations régionales. Mais dans la plupart des cas, il apparaît évident que la répartition spatiale et temporelle des accidents n'est pas aléatoire.

Selon les informations disponibles dans le système d'information sur la grande faune (Sebbane et Courtois 2000) de la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ), les accidents avec la grande faune ont impliqué annuellement entre 161 et 310 orignaux, 1847 et 3619 cerfs de Virginie et entre 18 et 77 ours noirs entre 1990 et 2002. Comme dans les autres juridictions, ces nombres pourraient être sous-estimés jusqu'à 50% (Child et al. 1991, Lavsund et Sandegren 1991). Les accidents les plus dommageables impliquent l'orignal à cause de sa grande taille (300-600 kg). À titre

d'exemple, uniquement dans la réserve faunique des Laurentides, les routes 169 et 175 ont été le théâtre de 352 accidents routiers impliquant la grande faune entre 1996 et 2000, et 325 de ceux-ci impliquaient l'orignal. Au cours de cette période, le coût estimé pour l'ensemble de ces accidents était d'au moins 4,9 millions \$CAN (Poulin 1999). Sur certaines sections des routes 169 et 175, les accidents impliquant la grande faune représentent même plus de 50% de l'ensemble des accidents, toutes causes confondues.

Malheureusement, les connaissances actuelles sur les causes des accidents routiers impliquant la grande faune sont déficientes au Québec. Jusqu'à maintenant, la plupart des études se sont limitées à quantifier le phénomène. Ainsi, la FAPAQ fait un bilan annuel (Munro et al. 2001) et quelques synthèses ont été réalisées pour les sites les plus problématiques. Les accidents ont surtout lieu durant l'été (Grenier 1974) et seraient en partie associés à la présence de mares salines le long de la chaussée. Celles-ci sont créées par l'accumulation du sel utilisé pour le déglacage des routes en hiver sur les bas côtés de la route (Jolicoeur et Crête 1994).



Mare saline fréquentée par l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides.

Cependant, il est important de déterminer si d'autres variables influencent la probabilité d'incidence des accidents routiers. Par exemple, les accidents pourraient bien être associés à la répartition (densité, qualité de l'habitat; Modafferi 1991, Joyce et Mahoney 2001) ou au comportement de l'original (ex. topographie, etc.; Bellis et Graves 1971, Carbaugh et al. 1975, Finder et al. 1999), à la capacité des conducteurs de détecter leur présence (sinuosité de la route, noirceur, etc.; Del Frater et Spraker 1991) ou même aux conditions météorologiques (Reed 1981, Andersen et al. 1991). Une fois les conditions propices aux accidents identifiées, il sera possible de déterminer les secteurs à risque élevé, et possiblement d'intervenir pour améliorer la sécurité sur les routes. De même, des mesures spéciales (ex. signalisation dynamique, sensibilisation des usagers de la route) pourraient être utilisées durant les périodes ou aux endroits les plus propices.

Devant l'importance et la gravité des accidents routiers impliquant des orignaux au Québec, le MTQ s'est associé à l'université du Québec à Rimouski (UQAR) et à la FAPAQ pour effectuer une recherche visant à mieux comprendre cette problématique. Un des objectifs du projet consiste à déterminer les facteurs qui influencent la répartition spatiale et temporelle des accidents dans la réserve faunique des Laurentides. Dans ce rapport, nous analysons l'effet des variables environnementales et temporelles les plus susceptibles d'influencer les accidents routiers avec l'original dans la réserve faunique des Laurentides au cours de la période 1990-2002. Cette étape, nous l'espérons, guidera le MTQ dans le choix des futures mesures d'intervention qui seront mises de l'avant.

2.0 Site d'étude

L'étude porte sur la réserve faunique des Laurentides, un vaste territoire boisé d'une superficie de 7 861 km² situé au nord de la ville de Québec et au sud de Ville Saguenay. Deux routes majeures, soit les routes provinciales 175 et 169, traversent la réserve dans un axe nord-sud (Figures 1 et 2). Ces routes sont asphaltées et n'offrent en majeure partie qu'une seule voie dans chaque direction. En 2002, le débit journalier moyen a été estimé à 1460 voitures sur la route 169, à 2800 voitures sur la 175 au nord de l'intersection de ces deux routes et à 4800 voitures sur la 175 au sud de cette même intersection. Ce débit est considéré élevé pour une route traversant un milieu forestier d'une telle superficie, ce qui explique en partie la problématique d'accidents avec la grande faune qui y persiste. La vitesse permise sur les routes de la réserve est de 90 km/h.

La forêt dans le secteur d'étude est typique de la région boréale (Figures 1 et 2) (Dussault et al. 2001). Les peuplements résineux de sapin (*Abies balsamea*) et d'épinette noire (*Picea mariana*) dominent sur les hauts plateaux alors que les secteurs à plus basse altitude et les vallées sont recouverts de peuplements mélangés et feuillus, surtout du bouleau à papier (*Betula papyrifera*) du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), du bouleau jaune (*B. alleghaniensis*) et des érables (*Acer rubrum* et *A. saccharum*). L'industrie forestière est active sur le territoire depuis de nombreuses années, ce qui crée une mosaïque forestière hétérogène de peuplements matures entrecoupés par des peuplements en régénération. Une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) ayant sévi il y a une vingtaine d'années a également contribué à rajeunir la forêt. Le secteur d'étude est montagneux et sillonné de plusieurs vallées profondes le long des cours d'eau majeurs.

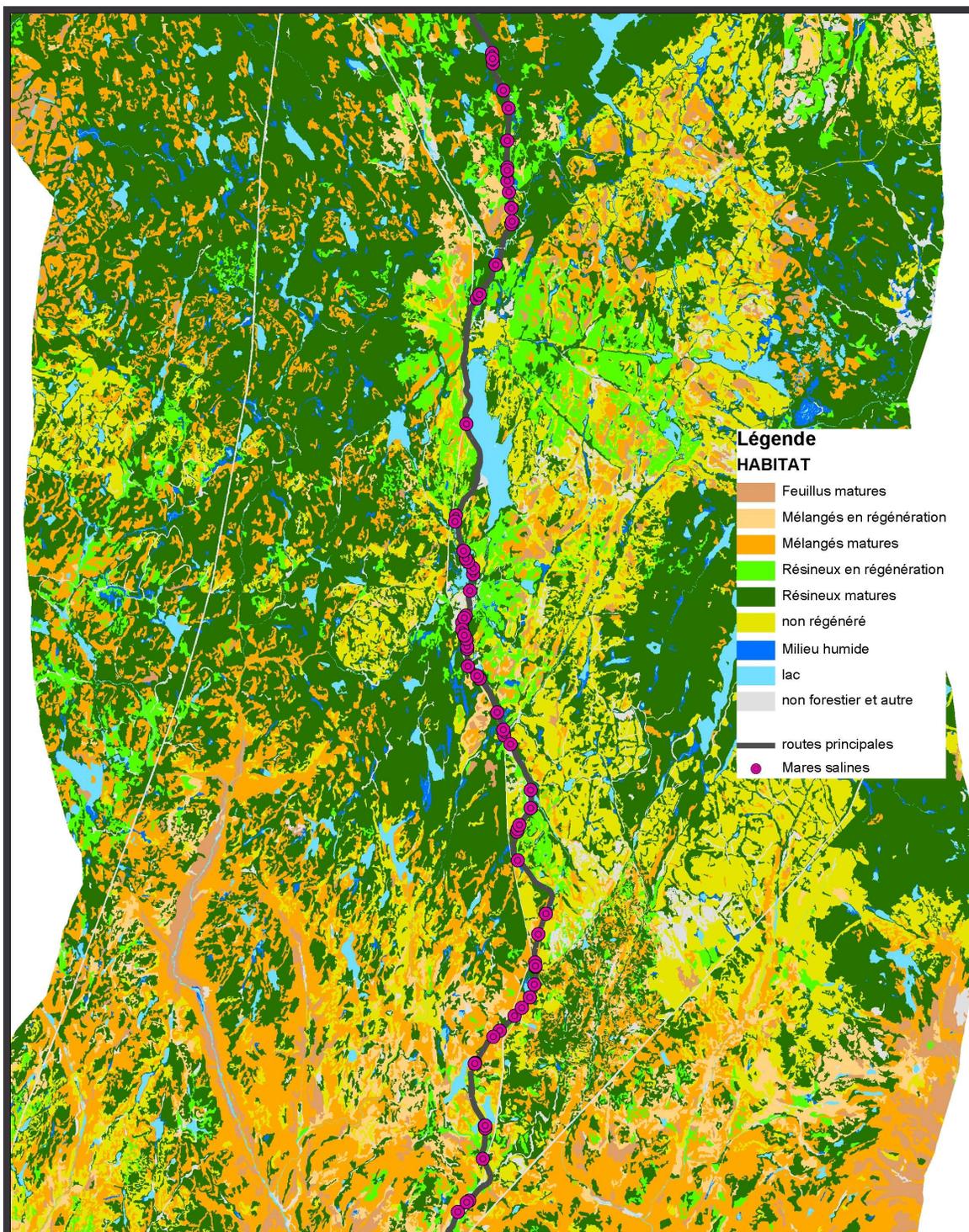


Figure 1. Carte du secteur sud de la réserve faunique des Laurentides montrant la route 175, la végétation et les mares salines recensées au bord de la route.

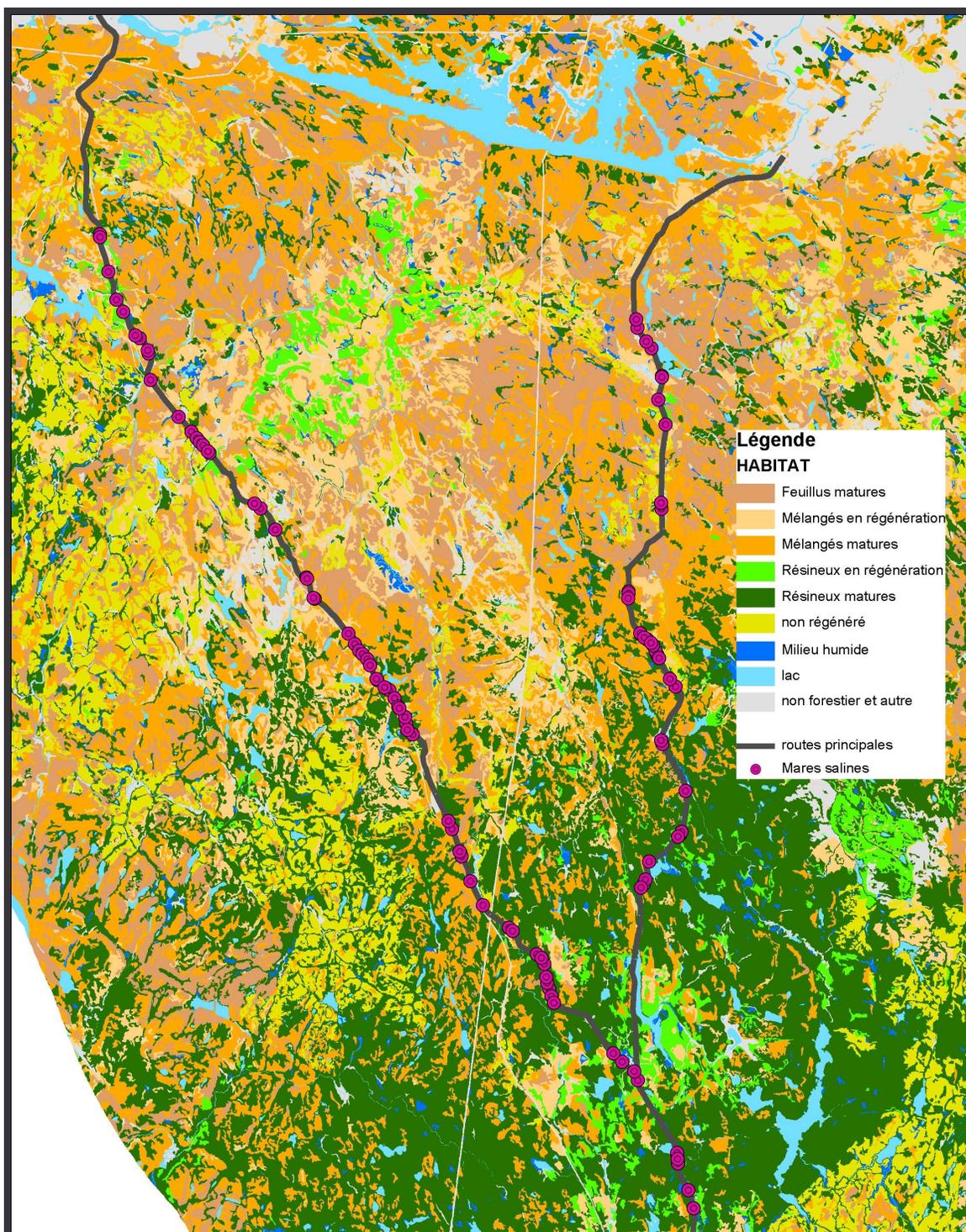


Figure 2. Carte du secteur nord de la réserve faunique des Laurentides montrant les routes 169 (à gauche) et 175 (à droite), la végétation et les mares salines recensées au bord de la route.

La mosaïque de peuplements jeunes et matures, issue de perturbations naturelles et anthropiques, constitue un habitat d'une excellente qualité pour l'orignal. La densité de cette espèce a été estimée à 2,2 orignaux / 10 km² à l'hiver 1994 (St-Onge et al. 1995), mais la densité a de toute évidence augmenté de façon notable depuis cette époque à cause d'une chasse plus restrictive depuis la mise en application du plan de gestion de l'orignal de la FAPAQ en 1994. De plus, la densité est passablement plus élevée dans certains secteurs, notamment dans le nord de la réserve (jusqu'à 8 orignaux / 10 km² dans certains secteurs, St-Onge et al. 1995) où l'habitat est très propice et dans le sud, le long du parc de conservation de la Jacques-Cartier, où la chasse est interdite (en moyenne 5 orignaux / 10 km², Dussault 2002). La chasse de l'orignal est cependant autorisée dans la réserve faunique des Laurentides durant les mois de septembre et octobre. Entre 117 et 131 orignaux y ont été abattus à la chasse entre 1999 et 2002 (<http://www.sepaq.com/Fr/index.cfm>). Le caribou (*Rangifer tarandus*), le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et l'ours noir (*Ursus americana*) sont les autres espèces de grands mammifères que l'on retrouve dans le secteur d'étude. Les prédateurs potentiels de l'orignal sont le loup gris (*Canis lupus*) et l'ours noir.

Les hivers dans la réserve des Laurentides sont particulièrement rigoureux, avec des précipitations sous forme de neige parmi les plus élevées au monde. Les chutes de neige ne sont par contre pas homogènes. L'accumulation de neige au sol est en moyenne 20% supérieure dans le sud (122 cm en mars) comparativement au nord (102 cm; données provenant des stations météorologiques opérées par le Ministère de l'Environnement du Québec dans la réserve des Laurentides au cours des 30 dernières années). La neige commence à s'accumuler au sol au début de novembre, atteint sa

profondeur maximale vers la mi-mars et persiste jusqu'au début de juin en forêt. Les températures maximales et minimales quotidiennes sont respectivement de -9,0 et -21,7°C en janvier, et de 21,7 et 9,5°C en juillet.



Les conditions de neige sont particulièrement difficiles pour l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides.

3.0 Méthodes

3.1 Information disponible sur les collisions impliquant l'orignal

Nous avons utilisé la base de données sur les accidents routiers couvrant la période de 1990 à 2002. De 1990 à 1993, les accidents ont été compilés par le Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), à partir des mortalités rapportées aux agents de conservation de la faune et saisies sur le système d'information sur la

grande faune (Sebbane et Courtois 2000). Parmi les informations recueillies par les responsables figurent la date et l'heure ainsi que les coordonnées de l'accident. En 1994, le suivi de cette banque de données et la récupération des carcasses des animaux morts ont été confiés au MTQ. Les responsables de la récupération des carcasses du MTQ doivent également remplir un formulaire et spécifier, entre autres, la date, l'heure et la position de l'accident par rapport à la borne kilométrique la plus près. Il est important de noter que les agents de conservation ou le personnel du MTQ n'ont pas nécessairement été contactés à toutes les fois qu'un accident impliquant un orignal s'est produit, par exemple si l'animal n'est pas mort sur place ou si les dommages matériels étaient mineurs. Pour cette raison, nous avons également consulté les rapports d'accidents de la police provinciale, ce qui nous a permis d'identifier d'autres accidents causés par l'orignal. La base de données globale a été élaborée par les employés du service du soutien technique de la direction générale de Québec et de l'est du Québec du MTQ.



Le personnel du MTQ relève la position de chaque accident impliquant un orignal dans la réserve faunique des Laurentides à la borne kilométrique la plus près.

3.2 Distribution temporelle des accidents routiers

Nous avons évalué la distribution interannuelle, intra-annuelle, hebdomadaire et circadienne des accidents en classifiant chaque accident selon : 1) l'année; 2) la quinzaine, soit au total 24 périodes d'environ 15 jours (quinzaine 1 = 1 au 15 janvier inclusivement; quinzaine 2 = 16 au 31 janvier; ...; quinzaine 24 = 16 au 31 décembre); 3) le jour de la semaine (dimanche, lundi, etc.); et 4) la période du jour (aube = de 1 h avant à 1 h après le lever du soleil; crépuscule = de 1 h avant à 1 h après le coucher du soleil; jour = entre aube et crépuscule; nuit = entre crépuscule et aube). Les heures de lever et de coucher du soleil ont été obtenues pour chaque journée à la station météo de la Forêt Montmorency (W 71° 10', N 47° 20', altitude de 670 m).

Nous avons également testé l'effet de quelques paramètres météorologiques sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers. Certaines variables météorologiques, la température par exemple, ont un effet sur le comportement de l'original (Belovsky 1981, Dussault et al., soumis) ou encore sur le comportement des automobilistes. Les accidents routiers pourraient donc être plus susceptibles de se produire lors de conditions météorologiques particulières. Les données météorologiques utilisées ont été enregistrées sur une base quotidienne dans 12 stations météo situées à moins de 2,5 km des routes 169 et 175, et bien réparties dans l'axe nord-sud. Le nombre de variables disponibles étant limité, nous n'avons pu utiliser que les variables présentées au tableau 1. Parmi celles-ci, nous avons calculé l'écart entre les températures maximales et minimales observées et les températures attendues pour voir si, par exemple, les accidents se produisaient durant les journées exceptionnellement chaudes ou froides pour la période de l'année. Pour ce faire, nous avons utilisé les données disponibles dans le site d'étude pour les 30 dernières

années afin de développer un modèle permettant de prédire les températures minimales et maximales quotidiennes à partir de la date :

$$\text{Temp. max. prédite} = -15,5^{\circ}\text{C} * \cos(\text{jour julien modifié} / (182,5/3,1416)) + 5,5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temp. min. prédite} = -15,0^{\circ}\text{C} * \cos(\text{jour julien modifié} / (182,5/3,1416)) - 4,7^{\circ}\text{C}$$

où $5,5^{\circ}\text{C}$ = température maximale quotidienne moyenne durant l'année; $-4,7^{\circ}\text{C}$ = température minimale quotidienne moyenne durant l'année; $-15,5^{\circ}\text{C}$ = écart moyen entre la température maximale quotidienne moyenne et les températures maximales quotidiennes les plus chaudes et les plus froides enregistrées durant l'année; $-15,0^{\circ}\text{C}$ = écart moyen entre la température minimale quotidienne moyenne et les températures minimales quotidiennes les plus chaudes et les plus froides enregistrées durant l'année; jour julien modifié = la date exprimée en jour julien avec la journée la plus froide, soit le 20 janvier ayant la valeur 1. Les deux régressions étaient significatives et permettaient d'expliquer 79% et 72% des variations intra-annuelles dans les températures maximales et minimales quotidiennes, respectivement.

Lors de la phase exploratoire des analyses, nous avons évalué visuellement la relation entre la probabilité d'occurrence des accidents et les variables météorologiques. Les variables dont la relation avec la probabilité d'occurrence des accidents n'était pas linéaire ont été catégorisées en 2 (faible et élevé, la médiane servant de point de coupure entre les 2 classes) ou 3 classes (faible, moyen et élevé, les percentiles 33 et 66 % servant de point de coupure) avant d'être utilisées dans les analyses.

Tableau 1. Variables météorologiques dont l'effet sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers avec l'original a été testé dans la réserve faunique des Laurentides entre 1990 et 2002.

Variable (unités)	Type de donnée^a
<u>Pression atmosphérique (kPa)</u>	
minimum quotidien	Catégorique, 3 classes
maximum quotidien	Catégorique, 3 classes
écart quotidien (maximum – minimum)	Catégorique, 3 classes
écart entre le max. quotidien et le max. de la journée précédente	Catégorique, 2 classes
écart entre le min. quotidien et le min. de la journée précédente	Catégorique, 2 classes
<u>Température (°C)</u>	
minimum quotidien	continue
maximum quotidien	continue
écart quotidien (maximum – minimum)	Catégorique, 3 classes
écart entre le min. quotidien et le min. de la journée précédente	Catégorique, 2 classes
écart entre le max. quotidien et le max. de la journée précédente	Catégorique, 2 classes
écart entre le minimum quotidien et le minimum attendu ^b	Catégorique, 3 classes
écart entre le maximum quotidien et le maximum attendu ^b	Catégorique, 3 classes
<u>Précipitations quotidiennes (mm d'eau)</u>	Catégorique, 3 classes

^a: Indique la nature de la variable incluse dans l'analyse statistique. Les variables dont la relation avec la probabilité d'occurrence d'accidents routiers était linéaire ont été traitées comme des variables continues. Les autres variables ont été classées en deux (faible, élevé) ou trois catégories (faible, moyen, élevé) sur la base des percentiles (voir texte pour plus de détails).

^b: Différence entre la valeur observée et la valeur prédite selon un modèle développé à partir des données de température disponibles dans le site d'étude pour les 30 dernières années (voir texte pour plus de détails).

Nous avons utilisé le test du Chi-carré pour déterminer l'effet de la période annuelle (i.e quinzaine), hebdomadaire et circadienne sur la fréquence des accidents routiers (PROC FREQ, SAS Institute 1999). L'effet des variables météorologiques a été testé par régression logistique (PROC LOGISTIC, SAS Institute 1999). Pour cette dernière analyse, chaque enregistrement de la base de données consistait en une journée à laquelle était associée une variable binaire indiquant si un accident s'était produit ou non durant cette journée. Les variables explicatives suivantes ont été testées : l'année, la quinzaine, le jour de la semaine et les variables météorologiques. Nous avons utilisé une régression logistique avec sélection des variables pas-à-pas retenant les variables dont $P \leq 0,1$. Cette approche a comme avantage de permettre d'identifier le modèle le plus performant, tout en éliminant les variables fortement corrélées.

3.3 Estimation du trafic dans la réserve

Nous voulions mettre en relation les accidents routiers impliquant l'orignal et le trafic routier. Cependant, nous n'avions pas toutes les données de trafic nécessaires pour intégrer cette variable dans les analyses statistiques. Il est possible d'identifier 3 zones à l'intérieur desquelles le trafic est assez homogène à l'intérieur de la réserve faunique des Laurentides : la route 169, la route 175 au nord de l'intersection avec la route 169, et la route 175 au sud de cette même intersection. Une seule station permanente a enregistré le trafic routier de façon systématique à toutes les heures du jour et toutes les périodes de l'année entre 1990 et 2002. Cette station est située dans la portion sud de la route 175, près de la forêt Montmorency. Pour les deux autres secteurs, nous n'avions qu'une estimation du débit journalier annuel moyen. Nous avons comparé le débit journalier

annuel moyen entre les sections de trafic afin de connaître l'ampleur des différences moyennes. Nous avons ensuite évalué le trafic par période de l'année et du jour dans les secteurs non inventoriés à partir des données enregistrées à la station permanente en supposant que les variations annuelles et circadiennes étaient semblables partout. Le trafic moyen dans la réserve a été calculé en faisant la moyenne du trafic sur les 3 sections de trafic en pondérant la valeur de chaque section par son importance relative (longueur en km). Cette estimation du trafic nous a permis de représenter graphiquement la relation entre le nombre d'accidents par période et le trafic dans l'ensemble de la réserve.

3.4 Distribution spatiale des accidents routiers

Les accidents routiers survenus entre janvier 1990 et juillet 2002 ont été positionnés à la borne kilométrique la plus près et projetés, dans le logiciel ArcMap (ESRI Inc., Redlands, California), sur une carte à l'échelle 1:20 000 montrant la topographie, la végétation, les cours d'eau, les lacs et les axes routiers majeurs. Nous avons calculé plusieurs variables (voir section 3.3.1) pour caractériser l'habitat, la topographie, l'aspect de la route et la distribution de l'original autour de chaque kilomètre linéaire de route, afin de déterminer si certaines d'entre elles étaient en relation avec le nombre d'accidents. Afin de bien caractériser chacun des kilomètres dans l'aire d'étude, certaines variables susceptibles de varier de façon importante ont été calculées à tous les 100 m (ex. la sinuosité de la route). Dans ce cas, la moyenne et/ou la valeur maximale ou minimale de la variable en question a été calculée pour les points de mesure répartis ≤ 500 m de part et d'autre de la borne kilométrique (Figure 3). Ces valeurs moyennes, minimales

et/ou maximales ont ensuite été utilisées comme variables explicatives dans un modèle de régression linéaire (PROC GENMOD, fonction link = distribution de poisson, SAS Institute Inc. 1999) testant leur effet sur le nombre d'accidents routiers par borne kilométrique. Afin de tenir compte du trafic qui varie à l'intérieur de la réserve faunique des Laurentides, nous avons divisé le nombre d'accident à chaque borne kilométrique par le débit annuel moyen de la section de trafic à l'intérieur de laquelle elle se trouvait. Comme pour l'analyse de la distribution temporelle des accidents, nous avons utilisé une approche pas-à-pas retenant les variables dont $P \leq 0,1$.



Figure 3. Les divers paramètres mis en relation avec le nombre d'accidents routiers avec l'original ont été mesurés dans un rayon de 500 m autour de chaque borne kilométrique.

3.4.1 Variables caractérisant l'habitat

3.4.1.1 Distance d'un peuplement d'alimentation

Nous avons calculé la distance entre la chaussée et le peuplement d'alimentation le plus près (m) à tous les 100 m le long de la route. Tel que suggéré par Dussault et al. (2001) et Samson et al. (2002), les peuplements offrant beaucoup de nourriture ont été définis comme ceux comportant une régénération mixte ou feuillue (i.e., coupes forestières ≥ 5 ans, épidémies sévères d'insectes, chablis, brûlis, etc.). La distance moyenne et la distance minimale ont été retenues comme variables explicatives dans l'analyse statistique.

3.4.1.2 Distance d'une parcelle d'habitat de qualité excellente et intermédiaire

Nous avons utilisé la carte produite par Auger et Sanregret (2003) et qui montre les valeurs d'IQH (Dussault et al. non publié) dans le site d'étude dans des parcelles carrées de 5 km², afin de mesurer la distance (m) entre la chaussée et les parcelles d'habitat de qualité excellente (IQH $\geq 0,8$) et intermédiaire (IQH $\geq 0,5$) à tous les 100 m le long de la route. La distance moyenne a été utilisée comme variable explicative dans l'analyse statistique.

3.4.1.3 Qualité globale de l'habitat

Nous avons calculé le nombre d'unités d'habitat (UH) dans une zone tampon de 500 m de rayon autour de chaque borne kilométrique :

$$UH = \sum_{i=1}^n (\text{IQH de la parcelle } i \times \text{superficie de la parcelle } i)$$

où n = nombre de parcelles d'IQH distinctes sur le territoire évalué (Courtois 1993).

Nous avons retenu une distance de 500 m de part et d'autre de la borne kilométrique pour obtenir une information spécifique à chaque kilomètre de route, et indépendante des bornes kilométriques environnantes.

3.4.1.4 Présence de mares salines

Les mares salines situées au bord des routes 169 et 175 et fréquentées par l'orignal ont été recensées à l'automne 2003 en circulant à basse vitesse sur l'accotement dans les deux directions. Une mare saline était définie comme une surface recouverte d'eau salée et/ou de vase, avec des signes évidents d'une utilisation répétée par l'orignal (traces fraîches, réseaux de pistes, végétation abîmée ou tuée). Bien que la salinité n'ait pas été mesurée dans toutes les mares salines, elle était toujours supérieure à 300 ppm dans les mares échantillonnées, et souvent supérieure à 1000 ppm. Une telle concentration en sel est plusieurs dizaines de fois supérieure à la concentration retrouvée dans les mares d'eau éloignées de la route (Jolicoeur et Crête 1994). La relation entre le nombre d'accidents routiers et le nombre de mares salines fréquentées n'était pas linéaire et, pour cette raison, chaque kilomètre de route a été classé selon une variable binaire indiquant la présence ou l'absence de mares salines fréquentées.

3.4.1.5 Distance d'un cours d'eau permanent ou d'un plan d'eau

Nous avons calculé la distance (m) entre la chaussée et le lac ou le cours d'eau permanent (rivières et ruisseaux) le plus près à tous les 100 m le long de la route. Les distances moyennes et minimales ont été retenues comme variables explicatives dans l'analyse statistique.

3.4.2 Variables caractérisant la topographie

3.4.2.1 Altitude par rapport au niveau de la mer

Nous avons utilisé la carte topographique à l'échelle 1:20 000 du Ministère des Ressources naturelles du Québec pour déterminer l'altitude (m) par rapport au niveau de la mer à tous les 100 m le long de la route. Ensuite, nous avons calculé la moyenne pour chaque kilomètre.

3.4.2.2 Pente du terrain de chaque côté de la route

Afin d'évaluer la topographie de part et d'autre de la route, nous avons calculé la pente sur une distance de 1000 m dans 6 directions différentes et ce, à tous les 100 m le long de la route. Les 6 points d'échantillonnage étaient distribués à un angle de 45, 90, 135, 225, 270 et 315 degrés par rapport à l'axe principal de la route (Figure 1). Chaque pente a été calculée en degrés par trigonométrie. La moyenne des 6 pentes et la différence entre la pente maximale et la pente minimale ont été calculées à tous les 100 m. Les variables explicatives retenues pour les analyses statistiques sont la moyenne des 10

pentés moyennes sur l'ensemble du kilomètre et l'écart le plus important observé entre la pente maximale et la pente minimale.

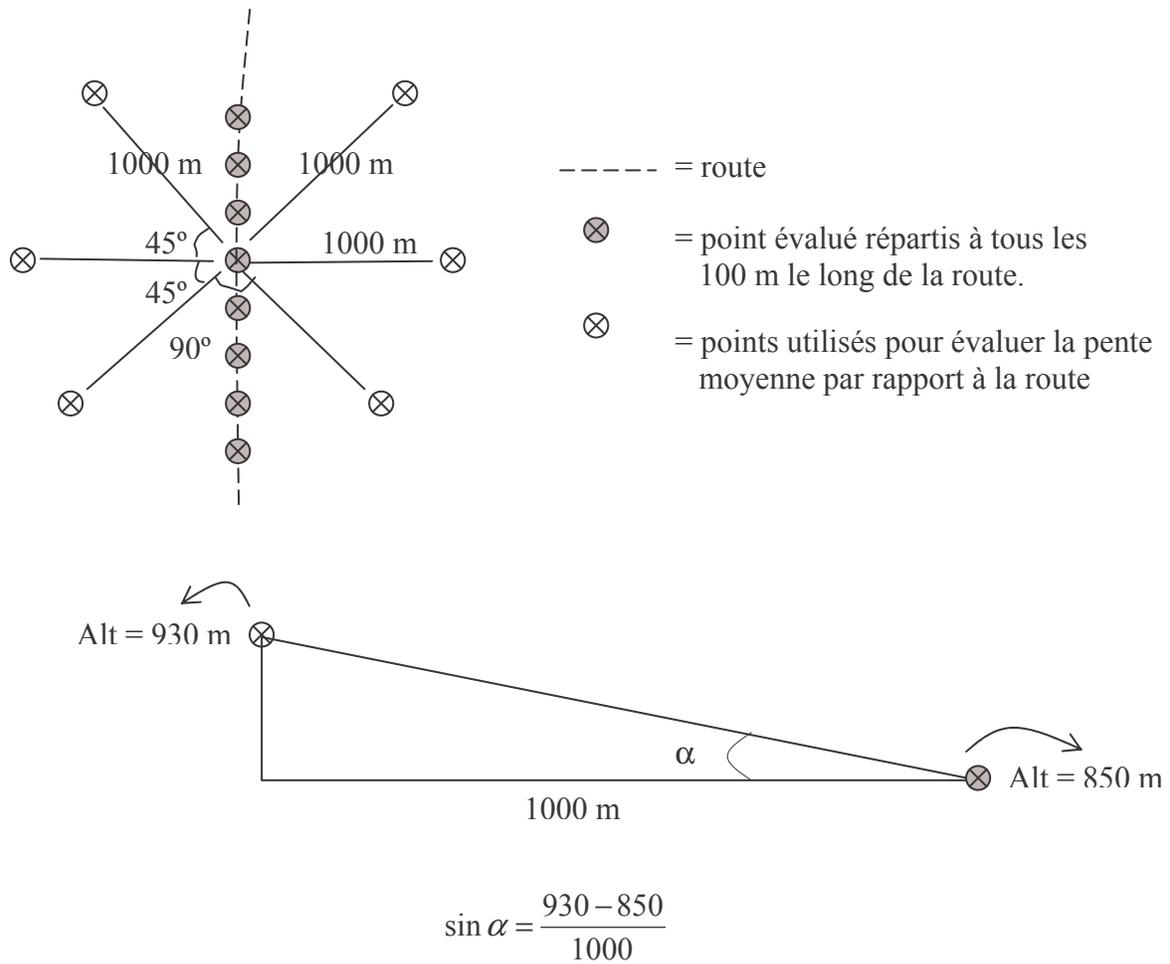


Figure 4. Schéma montrant la méthode utilisée pour évaluer les pentes sur une distance de 1000m de part et d'autre de la route.

3.4.2.3 Présence de corridors de déplacement

Nous avons identifié les corridors de déplacement susceptibles de permettre aux orignaux de se déplacer dans le paysage à des coûts énergétiques minimaux, i.e. sans avoir à franchir des pentes abruptes. Les corridors de déplacement le long de la route ont été identifiés à partir du modèle numérique d'élévation et de la carte topographique (Finder et al. 1999). La présence d'un corridor était assumée lorsqu'au moins une coulée non parallèle à la route était présente de part et d'autre de la chaussée. Pour les analyses statistiques, chaque kilomètre de route a été classifié selon la présence ou l'absence d'un corridor de déplacement.

3.4.3 Variables caractérisant la visibilité des conducteurs sur la route

3.4.3.1 Sinuosité

Nous avons développé un indice de sinuosité de la route en calculant les changements d'angle de la route à tous les 100 m (Figure 2). La sinuosité moyenne et la sinuosité maximale ont été utilisées comme variables explicatives dans l'analyse statistique.

3.4.3.2 Vallonnement

De façon très similaire à ce qui a été fait pour la sinuosité, nous avons créé un indice de vallonnement de la route en calculant les changements d'angle de la route sur un axe vertical à tous les 100 m. Pour y arriver, nous avons utilisé les coordonnées géographiques et l'altitude de chacun des points répartis systématiquement à tous les 100 m le long de la route. Nous avons attribué une valeur nulle à l'indice de vallonnement

lorsque l'angle était concave puisque la visibilité des automobilistes n'était dans ce cas pas diminuée. Lorsque l'angle était convexe, l'indice de vallonnement prenait alors la valeur absolue de l'angle. L'indice de vallonnement moyen et l'indice de vallonnement maximal par kilomètre ont été utilisés comme variables explicatives dans l'analyse statistique.

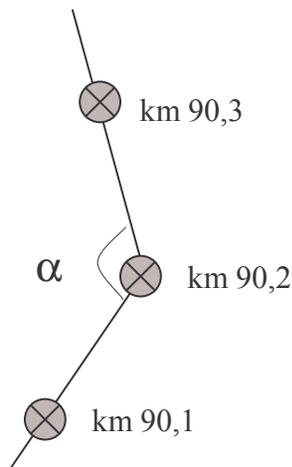


Figure 5. Méthode utilisée pour évaluer la sinuosité de la route. Les changements d'angle de la route (α) ont été calculés par trigonométrie à partir des coordonnées géographiques de chacun des points situés à tous les 100 m le long de la route.

3.4.4 Variables caractérisant la distribution de l'orignal

3.4.4.1 Densité

Nous avons utilisé les données des inventaires aériens de l'orignal réalisés par la FAPAQ dans la réserve faunique des Laurentides en 1994 (St-Onge et al. 1995) et dans le parc de la Jacques-Cartier entre 1995 et 1998 (Dussault 2002) pour évaluer les changements de densité de l'orignal le long des routes 169 et 175. Ces inventaires ont été

faits conformément à la méthode suggérée par Courtois (1991). La densité qui fut assignée à chaque kilomètre de route est celle correspondant à la parcelle d'inventaire la plus près parmi les 45 disponibles.

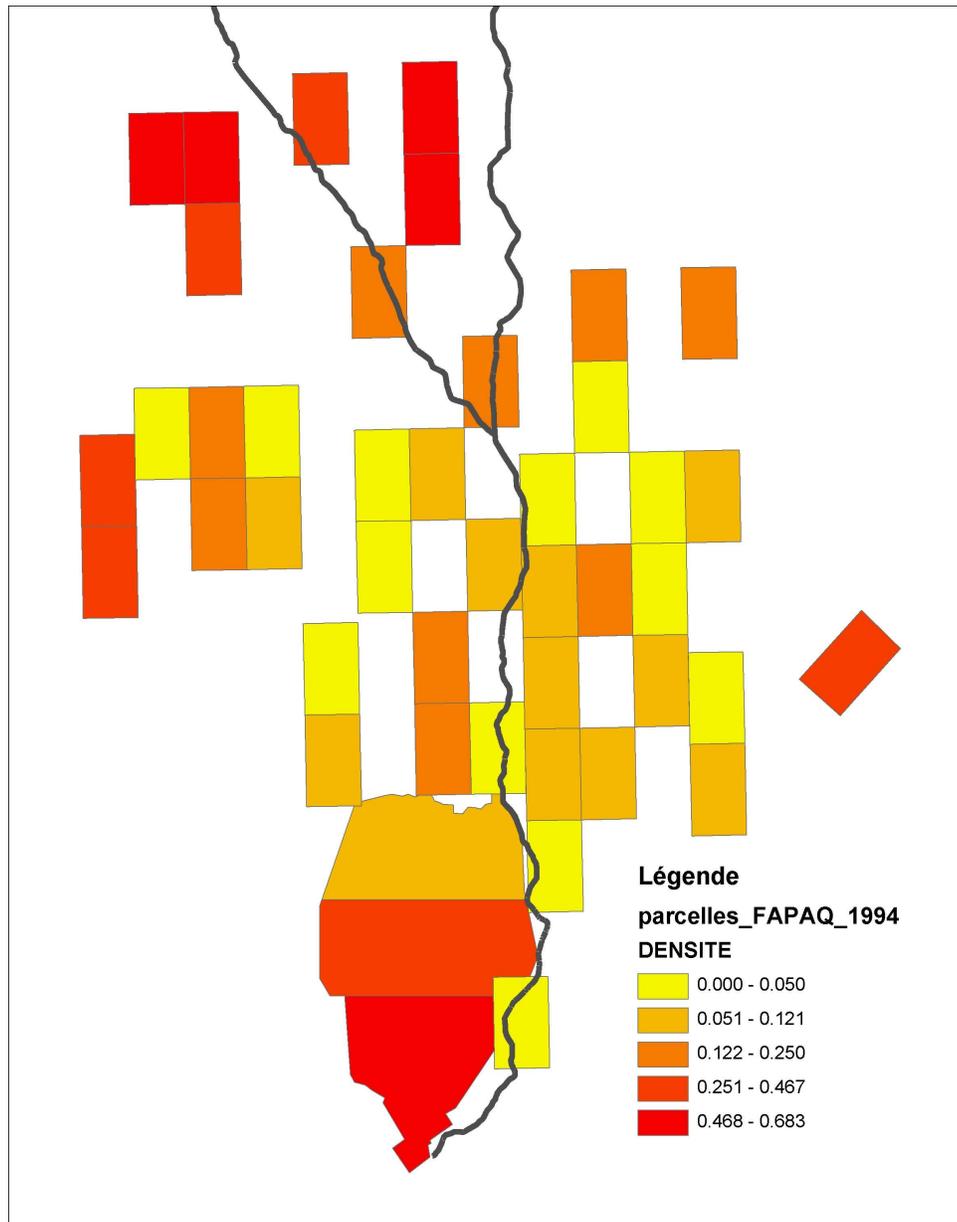


Figure 6. Distribution des parcelles d'inventaire aérien et densité de l'orignal ($/\text{km}^2$) dans la réserve faunique des Laurentides.

3.4.4.2 Succès de chasse

Nous avons calculé le succès de chasse à l'original moyen (nombre d'originaux récoltés/nombre de groupes de chasseurs) entre 1999 et 2002 dans chacune des 70 zones de chasse administrées par la Société des Établissements de Plein Air du Québec (SÉPAQ) dans la réserve faunique des Laurentides. Le succès de chasse qui fut assigné à chaque kilomètre de route est celui du territoire de chasse le plus près.

3.4.4.3 Nombre d'originaux abattus entre 1990 et 2002

Enfin, nous avons compté le nombre total d'originaux abattus dans un rayon de 500 m autour de chaque borne kilométrique durant la période couverte par cette étude en se référant au système d'information sur la grande faune de la FAPAQ.

4.0 Résultats

4.1 Répartition temporelle des accidents

Il y a eu au total 754 accidents impliquant l'original dans la réserve faunique des Laurentides entre 1990 et 2002, avec des variations significatives d'une année à l'autre (chi-carré = 35,1; dl = 12; $P < 0,001$). Le nombre d'accidents a surtout augmenté de façon importante en 1994 et il s'est stabilisé par la suite. En effet, le nombre d'accidents a varié entre 40 et 50 de 1990 à 1993 et entre 50-70 de 1994 à 2002 (Figure 3). Selon nous, cette différence est attribuable à certains changements dans la compilation des statistiques au moment où le MTQ a pris la relève du MEF.

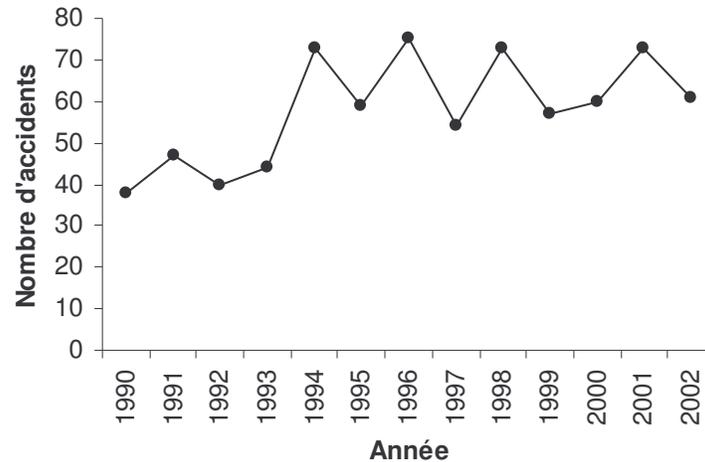


Figure 6. Nombre total d'accidents impliquant l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides entre 1990 et 2002.

La fréquence des accidents variait de façon importante au cours d'une année (chi-carré = 532,2; dl = 21; $P < 0,001$) et les variations observées étaient semblables d'une année à l'autre (chi-carré = 265,5; dl = 252; $P = 0,268$). Les accidents étaient très rares de la mi-novembre (Figure 7) jusqu'à la mi-avril. La période la plus propice était la deuxième moitié du mois de juin, mais le risque demeurait tout de même relativement élevé de la mi-mai à la fin d'août.

L'examen de la Figure 4 suggère que les changements annuels dans la fréquence des accidents routiers ne sont pas seulement expliqués par des changements de trafic, tout spécialement au début de l'été. En effet, la période durant laquelle le trafic est le plus élevé (début août) ne correspond pas à la période où les accidents routiers impliquant l'orignal sont les plus nombreux. Par contre, à partir de la mi-août, la réduction du nombre d'accidents routiers avec l'orignal suit la réduction du trafic routier moyen. Ainsi, le pic d'accidents routiers qui survient au début d'octobre correspond aussi à une

augmentation temporaire dans le trafic routier moyen. Les accidents étaient >42% plus fréquents le vendredi, journée durant laquelle le trafic moyen est le plus élevé, comparativement aux autres jours ($\chi^2 = 27,3$; $dl = 6$; $P < 0,001$, Figure 8).

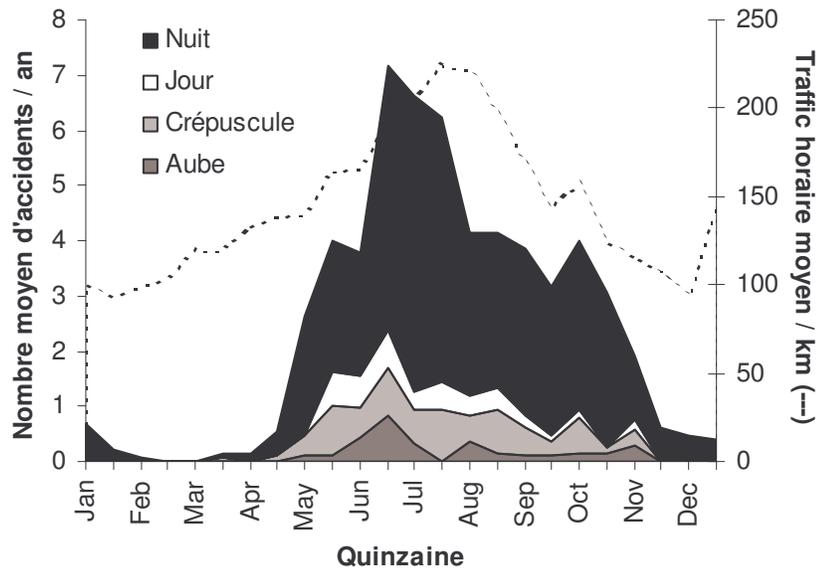


Figure 7. Répartition des accidents impliquant l'original dans la réserve faunique des Laurentides entre les périodes du jour et de l'année pour la période 1990-2002.

Les accidents ne sont pas non plus répartis de façon uniforme entre les périodes de la journée ($\chi^2 = 571,2$; $dl = 3$; $P < 0,001$). La fréquence des accidents est de loin la plus élevée durant la nuit, suivie par le crépuscule, l'aube et le jour (Figure 7) et cette tendance ne change pas au cours de l'année ($\chi^2 = 42,6$; $dl = 60$; $P = 0,957$). Par contre, le risque pour les automobilistes est encore bien plus élevé durant la nuit si l'on tient compte du débit routier moyen. En effet, c'est durant la nuit que le trafic est le plus faible (Figures 9). Le risque d'accident demeure au moins 2 fois plus grand durant la nuit

qu'à tout autre moment de la journée, même lorsque l'on tient compte de la durée relative des périodes journalières et de l'importance du trafic routier (Figure 10).

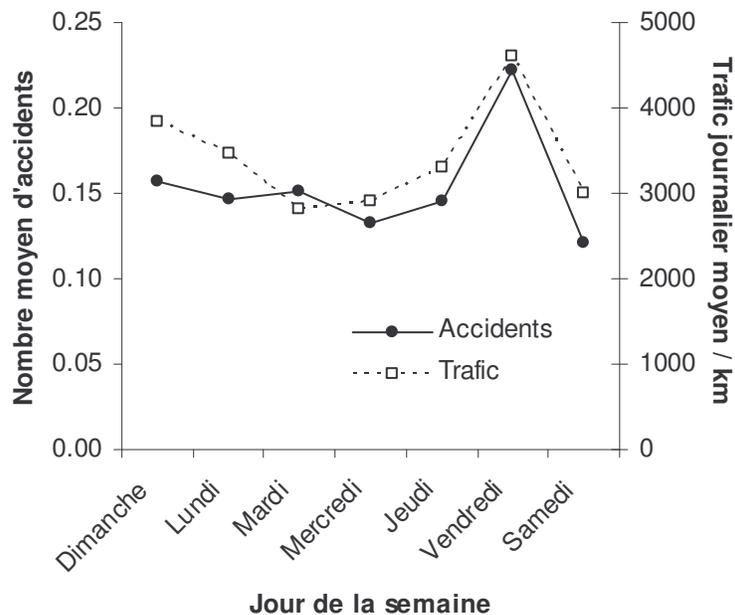


Figure 8. Nombre d'accident impliquant l'original et trafic horaire dans la réserve faunique des Laurentides en fonction du jour de la semaine entre 1990 et 2002.

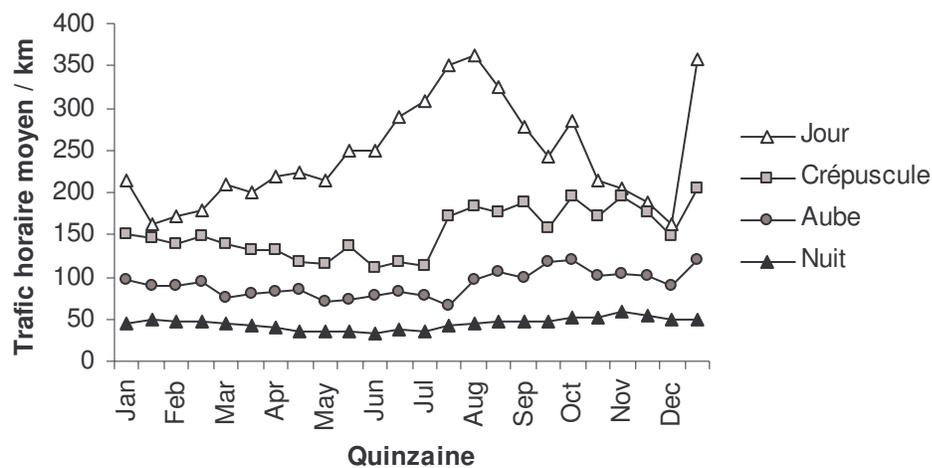


Figure 9. Trafic horaire moyen par kilomètre dans la réserve faunique des Laurentides en fonction de la période annuelle et quotidienne.

La régression logistique a aussi permis de mettre en évidence l'effet de l'année, de la quinzaine et du jour de la semaine sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers (Tableau 2). Parmi les paramètres météorologiques évalués, seuls la température maximale quotidienne et la pression barométrique quotidienne minimale avaient une influence significative sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers. En moyenne, la probabilité d'accident était plus élevée lorsque la température et la pression barométrique étaient élevées (Figure 11 et 12). Une fois ces variables incluses dans le modèle, aucune autre variable n'expliquait une part significative de la variabilité de l'occurrence des accidents routiers. Les variables retenues dans le modèle expliquaient 25% de la variabilité temporelle de l'occurrence des accidents routiers avec l'original.

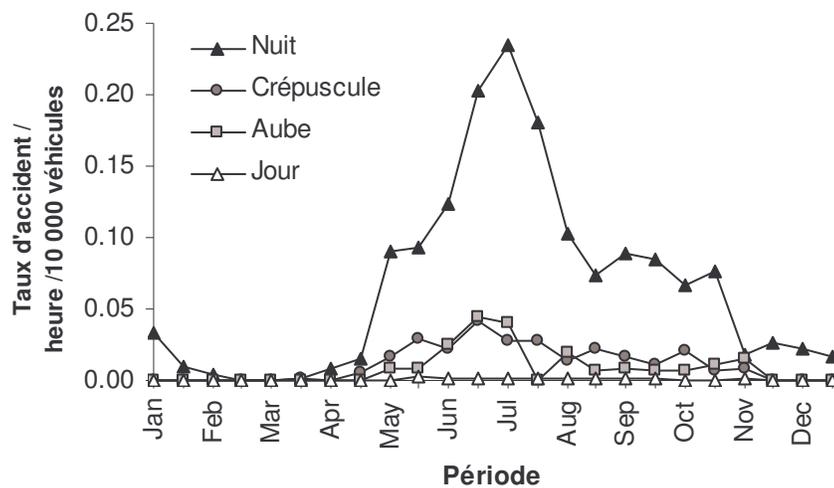


Figure 10. Taux d'accidents par heure et par 10 000 voitures impliquant l'original en fonction des périodes du jour et de l'année.

Tableau 2. Résultats de la régression logistique testant l'effet de la période du jour, du jour de la semaine, de l'année et des différentes variables météorologiques sur la probabilité d'accidents dans la réserve faunique des Laurentides de 1990 à 2002.

Variable	dl	Chi-carré de Wald	P
Année	12	29,54	0,003
Quinzaine	23	104,66	<0,001
Jour de la semaine	3	18,14	<0,001
Température maximale	1	7,57	0,006
Pression barométrique quotidienne minimale	2	11,56	0,003

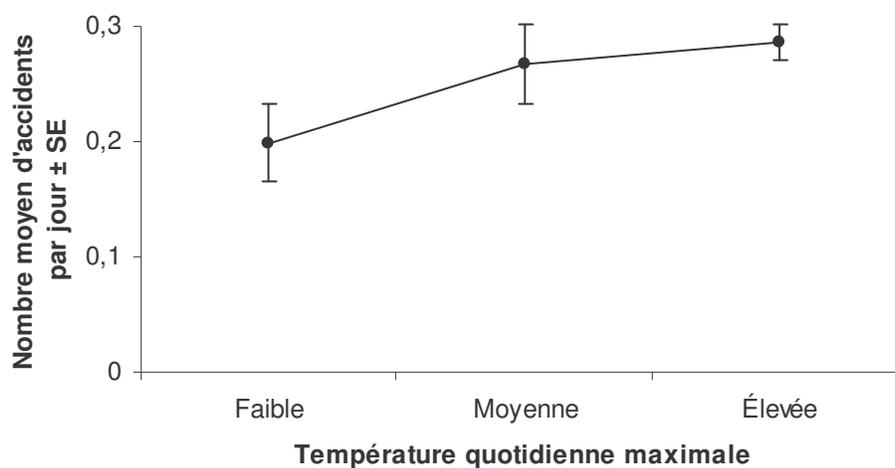


Figure 11. Relation entre le nombre moyen d'accident par jour entre les mois de juin et d'août et la température quotidienne maximale.

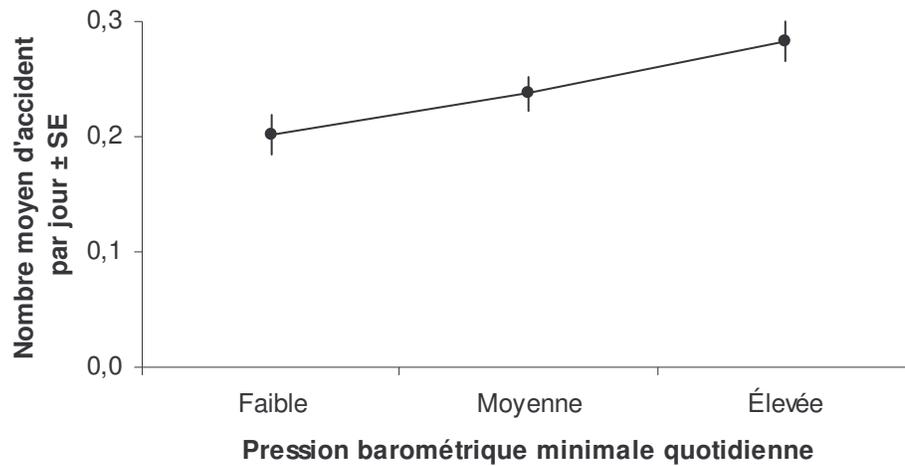


Figure 12. Relation entre le nombre moyen d'accident par jour entre les mois de juin et d'octobre et la pression barométrique minimale quotidienne.

4.2 Répartition spatiale des accidents

Les accidents routiers avec l'original ne sont pas répartis de façon uniforme le long des routes 169 et 175 dans la réserve faunique des Laurentides (Figure 13). À prime abord, il semble y avoir des facteurs agissant aussi bien à grande qu'à fine échelle sur la distribution spatiale des accidents. Par exemple, on voit que globalement, la fréquence des accidents est plus élevée dans la partie nord et la partie sud de la route 175 et vers le centre de la route 169. Cependant, le nombre d'accidents à l'intérieur de chacune de ces régions peut varier de façon tout aussi importante d'un kilomètre à l'autre.

Tableau 3. Effet des variables environnementales sur la répartition spatiale des accidents routiers avec l'orignal dans la réserve fauniques des Laurentides de 1990 à 2002.

Variable	B	dl	F	P
Densité/km ²	1,569	207	26,0	<0,001
Présence d'une mare saline		207	18,3	<0,001
Présence d'un corridor de déplacement traversant la route		207	12,0	0,001
Pente moyenne autour de la route	0,092	207	3,2	0,075

La régression multiple pas-à-pas a identifié la densité d'orignal comme étant la variable ayant le plus d'influence sur la répartition spatiale des accidents (Tableau 3), le nombre d'accidents augmentant de façon linéaire avec la densité. Le nombre d'accidents routiers avec l'orignal était 80% supérieur sur les tronçons où au moins une mare saline fréquentée était présente (Figure 11) et 120% plus élevé en présence d'un corridor de déplacement (Figure 12). Enfin, la fréquence des accidents augmentait lorsque la pente moyenne du terrain autour de la route augmentait. Ces variables expliquaient au total 23% de la variabilité spatiale des accidents routiers avec l'orignal.

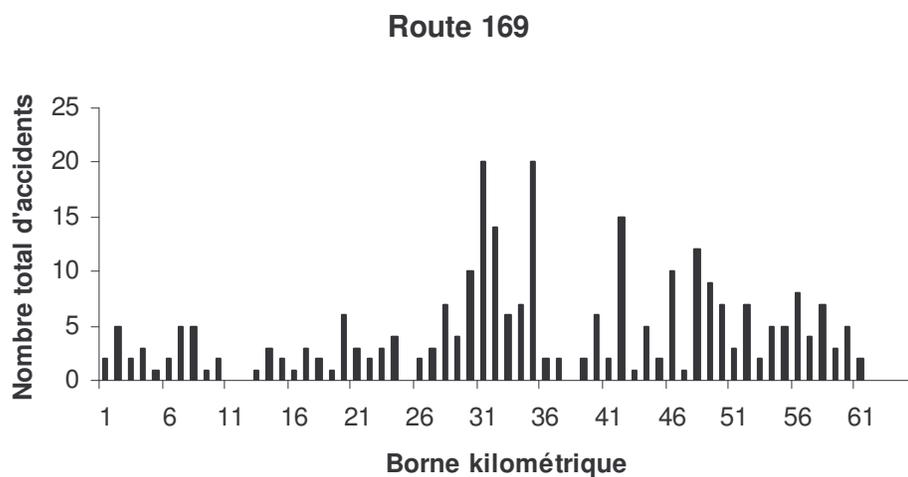
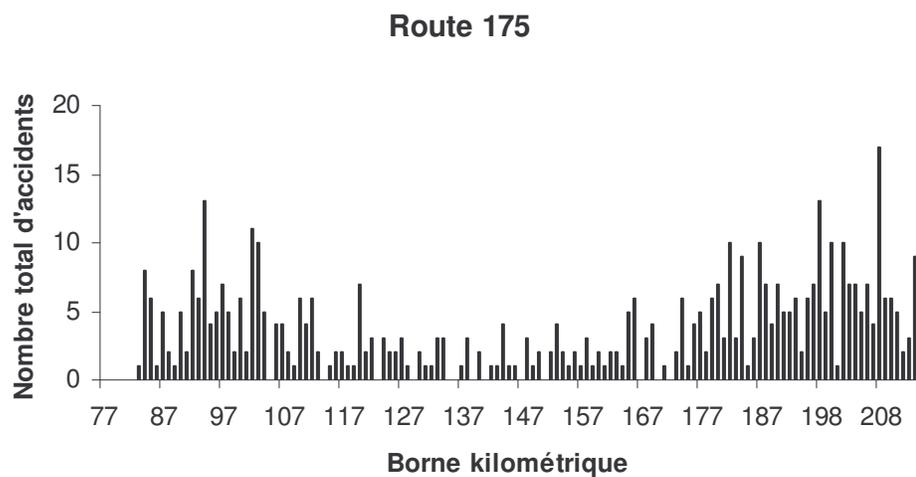


Figure 13. Nombre d'accidents survenus à chacune des bornes kilométriques des routes 169 et 175 dans la réserve faunique des Laurentides, entre 1990 et 2002.

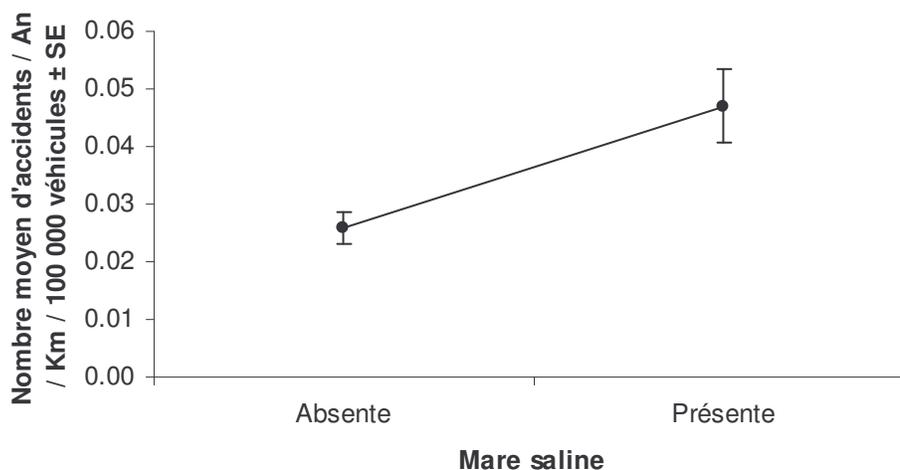


Figure 14. Nombre moyen d'accidents par kilomètre sur les routes 169 et 175 dans la réserve faunique des Laurentides selon la présence d'au moins une mare saline fréquentée par l'orignal le long de la chaussée.

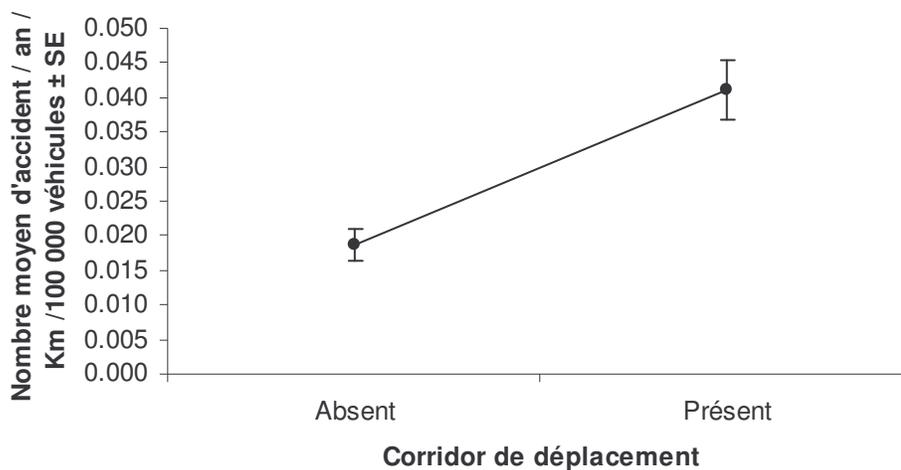


Figure 15. Nombre moyen d'accidents par kilomètre sur les routes 169 et 175 dans la réserve faunique des Laurentides selon la présence d'un corridor de déplacement traversant la route.

5.0 Discussion

5.1 Répartition temporelle des accidents

Les accidents avec l'orignal dans la réserve faunique des Laurentides sont concentrés entre la mi-mai et la fin du mois de novembre, avec un pic particulièrement important entre la mi-juin et la mi-juillet. Cette distribution annuelle des accidents est semblable à celle rapportée par Grenier (1974) et Jolicoeur (1985) dans la réserve faunique des Laurentides au cours des années 1970 et 1980, et par plusieurs autres auteurs en Ontario (Fraser 1979), à Terre-Neuve (Joyce et Mahoney 2001), au sud de la Suède (Skolving 1987, Lavsund et Sandegren 1991) et en Finlande (Tunkkari 1987). Selon Grenier (1974) et Jolicoeur (1985), cette répartition annuelle dans la réserve des Laurentides serait due à la recherche de sources de sodium au début de l'été. La répartition temporelle des accidents dans la réserve diffère par contre de celle observée en Colombie-Britannique (Child et al. 1991), en Alaska (Del Frate et Spraker 1991, McDonald 1991, Modafferi 1991), en Norvège (Andersen et al. 1991) et au nord de la Suède (Lavsund et Sandegren 1991) où le pic survient plutôt à vers la mi-novembre ou encore au milieu de l'hiver alors que les orignaux recherchent des sites d'alimentation où la neige est moins abondante, souvent près des routes. Il existe donc des variations régionales assez importantes dans la distribution annuelle des accidents routiers, ceux-ci étant associés à des périodes d'activité particulièrement intenses des cervidés cherchant à combler des besoins particuliers comme l'alimentation, le rut, les migrations saisonnières ou encore la dispersion des jeunes. Le fait que les mâles soient plus susceptibles aux accidents durant le rut et que les jeunes soient plus vulnérables peu après leur séparation

d'avec leur mère supporte cette hypothèse (Groot-Bruinderink et Hazebroek 1996, Putman 1997).

Tel qu'observé dans notre étude, la relation entre le nombre d'accidents et le volume du trafic routier n'est pas toujours évidente (Groot-Bruinderink et Hazebroek 1996). Parfois cette relation n'existe pas (Reilley et Green 1974, Del Frate et Spraker 1991) alors que parfois elle est linéaire (Grenier 1974) ou logarithmique (Berthoud 1987, Skolving 1987). Il existerait une bonne relation entre le nombre d'accidents et le trafic si l'on compare les accidents entre les années (Grenier 1974, Oosenbrug et al. 1991), entre les mois (cette étude, Grenier 1974, Jolicoeur 1985) et entre les jours de la semaine (cette étude, Grenier 1974, Allen et McCullough 1976, Jolicoeur 1985). Par contre, tel que démontré dans cette étude, le pic des accidents à l'intérieur de la journée survient durant la nuit ou encore les périodes de pénombre (Grenier 1974, Allen et McCullough 1976, Jolicoeur 1985, Berthoud 1987, Skolving 1987, Tunkkari 1987, Child et al. 1991, Lavsund et Sandegren 1991, Putman 1997, Joyce et Mahoney 2001) alors que le trafic est plus important durant le jour. Selon Groot-Bruinderink et Hazebroek (1996), cette plus grande vulnérabilité des orignaux durant la nuit et la pénombre serait attribuable à une augmentation du taux d'activité. Cependant, ce n'est probablement pas la seule explication. En effet, il est hautement probable que la visibilité réduite des automobilistes à cette période de la journée amplifie le problème. Par exemple, McDonald (1991) a démontré que la fréquence des accidents pouvait être réduite en éclairant la route avec des réverbères.

La probabilité d'occurrence d'accidents routiers par jour était particulièrement élevée durant les journées chaudes et lorsque la pression barométrique était élevée. Ces

conditions correspondent à des journées chaudes et ensoleillées. Bien qu'il soit difficile d'expliquer ce phénomène, nous pouvons émettre des hypothèses. Selon Dussault (2002), l'orignal réduit son taux d'activité durant les chaudes journées d'été et compense par une activité nocturne plus grande. Ainsi, une plus grande activité de l'orignal durant la nuit, période durant laquelle la visibilité des automobilistes est limitée, pourrait augmenter le risque de collision. Certains auteurs ont également suggéré que l'orignal recherche les milieux ouverts tels les emprises des routes pour fuir les insectes piqueurs (Helle 1980 et Helle et Aspi 1983 dans Tunkkari 1987). Les périodes estivales chaudes pourraient correspondre aux pics d'abondance de certains insectes, les Tabanidés par exemple, reconnus pour harceler les orignaux (Renecker et Hudson 1990). Les périodes de pression barométrique élevée sont également propices à la formation de bancs de brouillard (R. Gagné, Ministère de l'environnement, comm. pers.), ce qui pourrait évidemment réduire la visibilité des automobilistes.

Parmi les études consultées, aucune n'a testé l'effet des conditions météo sur l'occurrence des accidents avec l'orignal sur une base quotidienne tel que nous l'avons fait. Seul Andersen et al. (1991) ont trouvé un effet de la température sur la fréquence des accidents, mais ils ont utilisé cette variable pour expliquer les variations intra-annuelles. Ils ont conclu que les accidents étaient plus fréquents durant les périodes froides et la période la plus propice aux accidents était l'hiver dans leur site d'étude. Carbaugh et al. (1975) et Groot-Bruinderink et Hazebroek (1996) n'ont pas rapporté d'effet de la météo sur la fréquentation des routes par les ongulés.

Nous tenterons d'éclaircir cette relation entre le comportement de l'orignal et les conditions météorologiques, d'une part, et entre les conditions météorologiques et la

visibilité des automobilistes, d'autre part, au cours des prochaines années. À cet effet, nous utiliserons, entre autres, les positions d'orignaux récoltées aux 2 heures par des GPS et des données météo récoltées sur une base horaire.

5.2 Répartition spatiale des accidents

La répartition spatiale des accidents routiers dans la réserve des Laurentides était d'abord déterminée par la densité de l'orignal, les accidents étant plus fréquents dans les secteurs à forte densité (voir aussi Modafferi 1991, Oosenbrug et al. 1991, Joyce et Mahoney 2001). La présence de mares salines et la distance d'une parcelle avec un habitat de très grande qualité étaient les seules variables d'habitat qui influençaient la répartition spatiale des accidents routiers. Les accidents étaient plus fréquents sur les tronçons de route où au moins une mare saline fréquentée avait été répertoriée. La différence observée, soit une hausse de 80%, n'était cependant pas aussi importante que celle rapportée par Grenier (1973) qui a dénombré deux fois plus d'accidents le long des tronçons avec mares salines dans le même site d'étude au début des années 1970. Par contre, la méthode utilisée par Grenier (1974) pour identifier les mares salines était différente. C'est vraisemblablement le sodium, un élément rare dans l'environnement mais dont les mammifères ont besoin (Belovsky et Jordan 1981), qui attirerait l'orignal dans les mares salines (Fraser et al. 1982, Couturier 1984, Jolicoeur et Crête 1994, Bechtold 1996). Les orignaux fréquenteraient surtout les mares salines l'été durant la nuit, soit entre le début juin et le début août, ce qui correspond également aux pics annuel et circadien de collisions (Dussault et al., données non publiées). La problématique d'accidents routiers avec la grande faune en relation avec des mares salines en bordure

des routes n'est pas spécifique à notre site d'étude. On rapporte ce phénomène aussi en Ontario (Fraser 1980) avec l'orignal et en Finlande avec le renne (Nieminen et Leppaluoto 1985 dans Tunkkari 1987).



Orignal observé à une mare saline dans la réserve faunique des Laurentides à l'été 2003.

Parmi les variables caractérisant la topographie, seule la présence d'un corridor de déplacement (i.e. des coulées de part et d'autre de la route) et la pente moyenne du terrain autour de la route influençaient la distribution des accidents routiers. Bien qu'à notre connaissance, aucune étude n'ait spécifiquement étudié les déplacements de l'orignal par rapport à la topographie, les orignaux pourraient utiliser les passages les moins accidentés pour effectuer leurs déplacements de moyenne et de grande amplitude (ex. dispersion des jeunes). Nos résultats indiquent aussi que les corridors de déplacements seraient plus importants dans les zones encaissées où les pentes en bordure

de la route sont abruptes. Cette question sera approfondie dans le cadre de ce projet de recherche en utilisant les repérages procurés par la télémétrie GPS. Finder et al. (1999) avaient aussi identifié que la présence de corridors de déplacements riverains était positivement associée à la fréquence des accidents routiers avec le cerf de Virginie en Illinois. Feldhamer et al. (1986), quant à eux, n'avaient pas trouvé d'effet de la topographie sur les accidents avec le cerf de Virginie en Pennsylvanie alors que Bellis et Graves (1971) avaient observé plus d'accidents dans les secteurs où les pentes de chaque côté de la route étaient abruptes, confinant ainsi les animaux à marcher le long de celle-ci. La présence de ravins en bordure de la route pourrait également forcer les animaux à circuler sur la chaussée (Finder et al. 1999) et augmenter les risques de collision avec la grande faune.



Un des volets du projet dans la réserve faunique des Laurentides consiste à suivre les déplacements des orignaux avec des colliers GPS pour étudier, par exemple, l'effet de la topographie.

Aucune variable décrivant l'aspect de la route n'était reliée aux accidents routiers. Ces résultats concordent avec ceux de Joyce et Mahoney (2001) qui ont observé que 79% des accidents se produisaient dans des portions rectilignes de la route. Il est par contre probable que notre échelle d'analyse n'était pas assez fine pour détecter l'influence de cette variable. Afin de mieux évaluer l'effet de cette variable, nous décrivons directement sur le terrain les sites où se produisent des accidents avec l'original depuis l'été 2002. Les caractéristiques des sites ayant fait l'objet d'un accident seront comparées à celles de sites témoins afin d'identifier les facteurs qui, comme la sinuosité de la route ou encore la présence de ravins ou de falaises, sont difficiles ou impossible à mesurer sur les cartes disponibles.

6.0 Conclusion

Cette étude a permis de démontrer l'effet de plusieurs variables spatiales et temporelles sur la probabilité d'occurrence des accidents routiers avec l'original dans la réserve faunique des Laurentides. Cependant, les variables prises en compte expliquent moins de 25 % de la variabilité spatiale et temporelle des accidents routiers, ce qui indique que ce phénomène est difficilement prévisible, et que d'autres variables pourraient être importantes.

Les accidents routiers avec l'original sont plus susceptibles de se produire à certains moments de l'année et de la journée; ils sont plus fréquents la nuit entre la mi-juin et la mi-juillet, et plus particulièrement les vendredis. Durant cette période annuelle, beaucoup de voitures circulent sur les routes de la réserve et les originaux sont

susceptibles de se déplacer beaucoup puisque la végétation se développe plus rapidement par endroits et les jeunes sont en dispersion. Les températures chaudes durant le jour à ce moment de l'année pourraient également conduire les orignaux à être plus actifs la nuit. Dans un avenir rapproché, nous clarifierons le rôle respectif du trafic routier et de l'activité de l'orignal dans la problématique des accidents routiers avec l'orignal, notamment en utilisant les repérages télémétriques effectués dans un autre volet du projet.

Notre étude a aussi identifié certaines caractéristiques de l'environnement aux alentours des sites où se produisent les accidents routiers. Parmi les facteurs impliqués, on note la présence de mares salines fréquentées par l'orignal au bord des routes. Le MTQ effectue des travaux depuis quelques années pour éliminer les plus grosses mares salines. Un des volets du projet de recherche conjoint, impliquant le MTQ, la FAPAQ et l'UQAR, sera de vérifier expérimentalement si ces aménagements réduisent la fréquentation des mares salines par l'orignal. La topographie avait aussi un effet sur les accidents routiers. Encore une fois, les repérages télémétriques nous permettront de mieux comprendre comment l'orignal se déplace par rapport au relief, ce qui nous permettra d'identifier les zones où les orignaux sont susceptibles de traverser la route. Des passages à faune pourraient, par exemple, être érigés à ces endroits. Enfin, nous croyons que l'échelle d'analyse (par kilomètre de route) n'était pas optimale pour étudier certaines variables environnementales telles que la sinuosité et le vallonnement de la route, ainsi que la présence de ravins ou autres structures. Nous comptons sur les relevés de terrains aux sites mêmes des accidents routiers pour déterminer si d'autres variables sont positivement ou négativement reliées aux accidents routiers.

Références

- Allen, R.E., et D.R. McCullough. 1976. Deer-car accidents in southern Michigan. *J. Wildl. Manage.* 40 : 317-25.
- Andersen, R., B. Wiseth, P.H. Pedersen, et V. Jaren. 1991. Moose-train collisions : effects of environmental conditions. *Alces* 27 : 79-84.
- Auger, C., et H. Sansregret. 2003. Réalisation du calcul des conditions de l'habitat de l'original selon la valeur du modèle d'indice de qualité d'habitat (Dussault 2002) pour la réserve faunique des Laurentides. Groupe Conseil AGIR Inc. 13 p.
- Bechtold, J.-P. 1996. Chemical characterisation of natural mineral springs in northern British Columbia, Canada. *Wildl. Soc. Bull.* 24: 649-654.
- Bellis, E.D., et H.B. Graves. 1971. Deer mortality on a Pennsylvania interstate highway. *J. Wildl. Manage.* 35:232-7.
- Belovsky, G.E., et P.A. Jordan. 1981. Sodium dynamics and adaptations of a moose population. *J. Mammal.* 62: 613-621
- Berthoud, G. 1987. Impact d'une route sur une population de chevreuils. pp. 167-69 *dans* Actes du colloque Routes et faune sauvage, 5-7 juin 1985, Strasbourg.
- 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: 570-81.
- Child, K.N., S.P. Barry, et D.A. Aitken. 1991. Moose mortality on highways and railways in British Columbia. *Alces* 27: 41-49.
- Conover, M.R. 1997. Monetary and intangible valuation of deer in the United States. *Wildl. Soc. Bull.* 25: 298-305.

- Courtois, R. 1991. Normes régissant les inventaires aériens de l'orignal. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. 24 p.
- Courtois, R. 1993. Description d'un indice de qualité de l'habitat pour l'Orignal (*Alces alces*) au Québec. Gouvernement du Québec, Ministère du Loisir de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la ressource faunique, Gestion intégrée des ressources, document technique 93/1. 56 p.
- Couturier, S. 1984. L'utilisation des salines par l'orignal et le cerf de Virginie dans la réserve faunique de Matane. Mémoire de maîtrise, Université Laval. 163 p.
- de Bellefeuille, S., et M. Poulin. 2003. Mesures de mitigation visant à réduire le nombre de collisions routières avec les cervidés : Revue de littérature et recommandations pour le Québec. Service de soutien technique, Direction générale de l'est, Ministère des Transports du Québec, 103 p.
- Del Frate, G.G., et T.H. Spraker. 1991. Moose vehicle interactions and an associated public awareness program on the Kenai Peninsula, Alaska. *Alces* 27 : 1-7.
- Dussault, C. 2002. Influence des contraintes environnementales sur la sélection de l'habitat de l'orignal (*Alces alces*). Thèse de Ph.D. Université Laval. Québec.
- Dussault, C., R. Courtois, J. Huot, et J.-P. Ouellet. 2001. The use of forest maps for the description of wildlife habitats : limits and recommandations. *Can. J. For. Res.* 31 : 1227-1234.
- Dussault, C., R. Courtois, et J.-P. Ouellet. Non-publié. Indice de qualité d'habitat pour l'orignal (*Alces alces*) adapté au sud de la forêt boréale du Québec. 47 p.

- 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 Urban Plan.* 44 :77-85.
- Fraser, D. 1979. Sightings of moose, deer, and bears on roads in northern Ontario. *Wildl. Soc. Bull.* 7 : 181-4.
- Fraser, D. 1980. Moose and salt : a review of recent research in Ontario. *Proc. N. Am. Moose Conf. Workshop* 16 : 51-68.
- Fraser, D., B.K. Thompson, et D. Arthur. 1982. Aquatic feeding by moose : seasonal variation in relation to plant chemical composition and use of mineral licks. *Can. J. Zool.* 60 : 3121-3126.
- Grenier, P. 1973. Moose killed on the highway in the Laurentides Park Québec, 1962 to 1972. *Proc. N. Am. Moose Conf. Workshop* 9 : 155-193.
- Grenier, P. 1974. Orignaux tués sur la route dans le parc des Laurentides, Québec, de 1962 à 1972. *Naturaliste Can.* 101 : 737-754.
- Groot Bruinderink, G.W.T.A., et E. Hazebroek. 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conserv. Biol.* 4: 1059-67.
- Jolicoeur, H. 1985. Les mares saumâtres: leur rôle dans les accidents routiers impliquant des orignaux et essai d'un moyen pour les éliminer. Ministère du loisir, de la chasse et de la pêche. 42 p.
- Jolicoeur, H., et M. Crête. 1994. Failure to reduce moose-vehicle accidents after a partial drainage of roadside salt pools in Québec. *Alces* 30 : 81-89.

- Joyce, T.L., et S.P. Mahoney. 2001. Spatial and temporal distributions of moose-vehicle collisions in Newfoundland. *Wildl. Soc. Bull.* 29: 281-91.
- Lavsund, S., et F. Sandegren. 1991. Moose-vehicle relations in Sweden : a review. *Alces* 27 : 118-26.
- McDonald, M.G. 1991. Moose movement and mortality associated with the Glenn Highway expansion, Anchorage Alaska. *Alces* 27 : 208-19.
- Modafferi, R. D. 1991. Train moose-kill in Alaska : characteristics and relationship with snowpack depth and moose distribution in lower Susitna valley. *Alces* 27 : 193-207.
- Munro, D., L. Gignac, G. Lamontagne, et D. Jean. 2001. Gros gibier au Québec en 1999 (exploitation par la chasse et mortalités par des causes diverses). Société de la faune et des parcs du Québec. 64 p.
- Oosenbrug, S.M., E.W. Mercer, et S.H. Ferguson. 1991. Moose-vehicle collisions in Newfoundland – Management considerations for the 1990's. *Alces* 27 : 220-225.
- Poulin, M. 1999. Les accidents de la circulation impliquant le grande faune sur le territoire de la Direction de Québec et à l'intérieur des limites de la réserve faunique des Laurentides. Ministère des Transports du Québec. 27 p. + annexes.
- Putman, R.J. 1997. Deer and road traffic accidents : options for management. *J. Environ. Manage.* 51 : 43-57.
- Reed, D.F. 1981. Effectiveness of highway lighting in reducing deer-vehicle accidents. *J. Wildl. Manage.* 45 : 721-6.
- Reilley, R.E., et H.E. Green. 1974. Deer mortality on a Michigan interstate highway. *J. Wildl. Manage.* 38 : 16-19.

- Renecker, L.A., et R.J. Hudson. 1990. Behavioral and thermoregulatory responses of moose to high ambient temperatures and insect harassment in aspen-dominated forests. *Alces* 26 : 66-72.
- Romin, L.A., et J.A. Bissonette. 1996. Deer-vehicle collisions: Status of state monitoring activities and mitigation efforts. *Wildl. Soc. Bull.* 24:276-83.
- Samson, C., C. Dussault, R. Courtois, et J.-P. Ouellet. 2002. Guide d'aménagement de l'habitat de l'orignal. Société de la faune et des parcs du Québec, Fondation de la faune du Québec et Ministère des Ressources naturelles du Québec, Sainte-Foy. 48 p.
- SAS Institute Inc. 1999. The SAS system for Windows, release 8.00. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Sebbane, A., et R. Courtois. 2000. Restructuration du système d'information de la grande faune. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, 36 p.
- Skolving, H. 1987. Traffic accidents with moose and roe deer in Sweden. Report of research, development and measures. pp. 317-24 *dans* Actes du colloque Routes et faune sauvage, 5-7 juin 1985, Strasbourg.
- St-Onge, S., R. Courtois, et D. Banville (éd.) 1995. Inventaires aériens de l'orignal dans les réserves fauniques du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la Faune et des Habitats, Service de la faune terrestre. 109 p. NO. CAT. : 95-3111-12.
- Tunkkari, P.S. 1987. Moose and deer in traffic accidents in Finland: a review. pp. 151-54 *dans* Actes du colloque Routes et faune sauvage, 5-7 juin 1985, Strasbourg.