

Détermination des facteurs spatiotemporels expliquant le risque de collision routière avec des cervidés sur l'autoroute Claude-Béchar (85) au Témiscouata

Jérôme Laliberté et Martin-Hugues St-Laurent

Volume 143, numéro 1, hiver 2019

Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques : de la recherche aux actions concrètes

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1054116ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1054116ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

1929-3208 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Laliberté, J. & St-Laurent, M.-H. (2019). Détermination des facteurs spatiotemporels expliquant le risque de collision routière avec des cervidés sur l'autoroute Claude-Béchar (85) au Témiscouata. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 40–47. <https://doi.org/10.7202/1054116ar>

Résumé de l'article

Une stratégie efficace d'atténuation des collisions routières impliquant la faune requiert de bonnes connaissances des facteurs pouvant expliquer pourquoi, où et quand celles-ci se produisent, afin d'améliorer la sécurité routière. Les collisions routières impliquant des cervidés sont reconnues pour être influencées notamment par des caractéristiques temporelles (phase du jour, saison, période biologique) et spatiales (topographie, couvert forestier). Ces facteurs peuvent influencer le comportement des cervidés, la capacité des conducteurs à détecter les animaux sur la chaussée et leur temps de réaction. Nous avons évalué l'effet des différentes caractéristiques spatiotemporelles sur le risque de collisions avec l'orignal (*Alces americanus*) et le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) sur l'autoroute Claude-Béchar (axe routier 85/185) reliant Rivière-du-Loup (Québec) au Nouveau-Brunswick, pour la période de 1990 à 2015. Notre capacité à identifier les principaux facteurs expliquant la distribution spatiotemporelle des collisions différait entre les espèces, et était meilleure pour l'orignal que pour le cerf. Les facteurs identifiés dans notre étude peuvent contribuer au développement d'une stratégie d'atténuation pour l'autoroute Claude-Béchar et à limiter le risque de collision, principalement avec l'orignal, tout en apportant de plus amples connaissances sur la répartition des collisions routières avec les cervidés dans un paysage agroforestier habité supportant de fortes densités de cervidés.

Détermination des facteurs spatiotemporels expliquant le risque de collision routière avec des cervidés sur l'autoroute Claude-Bécharde (85) au Témiscouata

Jérôme Laliberté et Martin-Hugues St-Laurent

Résumé

Une stratégie efficace d'atténuation des collisions routières impliquant la faune requiert de bonnes connaissances des facteurs pouvant expliquer pourquoi, où et quand celles-ci se produisent, afin d'améliorer la sécurité routière. Les collisions routières impliquant des cervidés sont reconnues pour être influencées notamment par des caractéristiques temporelles (phase du jour, saison, période biologique) et spatiales (topographie, couvert forestier). Ces facteurs peuvent influencer le comportement des cervidés, la capacité des conducteurs à détecter les animaux sur la chaussée et leur temps de réaction. Nous avons évalué l'effet des différentes caractéristiques spatiotemporelles sur le risque de collisions avec l'orignal (*Alces americanus*) et le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) sur l'autoroute Claude-Bécharde (axe routier 85/185) reliant Rivière-du-Loup (Québec) au Nouveau-Brunswick, pour la période de 1990 à 2015. Notre capacité à identifier les principaux facteurs expliquant la distribution spatiotemporelle des collisions différait entre les espèces, et était meilleure pour l'orignal que pour le cerf. Les facteurs identifiés dans notre étude peuvent contribuer au développement d'une stratégie d'atténuation pour l'autoroute Claude-Bécharde et à limiter le risque de collision, principalement avec l'orignal, tout en apportant de plus amples connaissances sur la répartition des collisions routières avec les cervidés dans un paysage agroforestier habité supportant de fortes densités de cervidés.

MOTS CLÉS : cervidés, collisions routières, connectivité écologique, comportement faunique, sécurité routière

Abstract

An effective mitigation strategy to reduce collisions between wildlife and vehicles, and to improve road safety, requires precise knowledge of why, where and when such collisions happen. Collisions with cervids are known to be particularly influenced by different temporal (e.g., time of day/night, season and biological cycle) and spatial (e.g., topography and forest cover) characteristics. These factors can influence cervid behavior, the ability of drivers to detect animals on the road, and driver reaction time. The present study evaluated the effect of spatiotemporal characteristics on the risk of collisions with moose (*Alces americanus*) and white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on the Claude-Bécharde Highway (Highway 85/185), linking Rivière-du-Loup (Québec, Canada) with the province of New Brunswick, between 1990 and 2015. Ability to identify the main factors influencing the spatiotemporal distribution of collisions differed between species, and was higher for moose than for deer. Factors highlighted in the study could help develop appropriate mitigation measures for the Claude-Bécharde Highway to help limit the risk of collision, mainly with moose. The study also provides additional knowledge on the distribution of vehicle collisions with cervids in an inhabited agroforestry landscape holding a high density of these animals.

KEYWORDS: animal behavior, cervids, ecological connectivity, road safety, wildlife-vehicle collisions

Introduction

Le nombre de collisions impliquant la faune a largement augmenté durant les dernières décennies dans l'hémisphère nord (p. ex. Huijser et collab., 2008; Seiler et collab., 2004). Compte tenu de l'expansion annuelle du réseau routier (Hawbaker et collab., 2006), il est justifié de croire que cette tendance persistera pour les années à venir (van der Ree et collab., 2015a). Cette augmentation du nombre de collisions avec la faune peut être partiellement expliquée par une hausse du débit routier et une modification du comportement et des densités régionales des principales espèces fauniques impliquées (Groot Bruinderink et Hazebroek, 1996; Seiler et collab., 2004). En 2003, près de 45 000 collisions impliquant la grande faune se produisaient sur les routes canadiennes.

Jérôme Laliberté est candidat à la maîtrise à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) dans l'équipe de recherche en gestion de la faune terrestre dirigée par Martin-Hugues St-Laurent. Il détient un baccalauréat en biologie de l'UQAR ainsi qu'une technique en milieu naturel du Cégep de Saint-Félicien.

Martin-Hugues St-Laurent détient un doctorat en biologie de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et est professeur titulaire en écologie animale à l'UQAR. Il y dirige un programme de recherche visant à mieux comprendre les impacts de l'altération des habitats sur l'écologie du caribou des bois, du loup gris, de l'orignal, du coyote et de l'ours noir en gestion et conservation de la faune terrestre.

martin-hugues_st-laurent@uqar.ca

Ce nombre tendrait à augmenter de 10 à 15 % annuellement, engendrant en moyenne 1 500 cas de blessures et une vingtaine de mortalités d'automobilistes par année (Tardif et collab., 2003). Ces auteurs ont également estimé que les coûts en dommages matériels s'élevaient alors à 200 000 000 \$ CA (4 500 \$/collision).

Afin d'améliorer la sécurité routière, il importe de comprendre pourquoi, à quels moments et à quels endroits se produisent les collisions routières, puisqu'elles sont rarement réparties aléatoirement dans le temps et l'espace (Steiner et collab., 2014). Plusieurs écologistes se sont intéressés aux patrons temporels et spatiaux de répartition des collisions impliquant la faune (Finder et collab., 1999; van der Ree et collab., 2015b).

Une corrélation est souvent notée entre l'augmentation des collisions routières, l'augmentation de la densité des espèces fauniques impliquées et l'augmentation du débit routier (Litvaitis et Tash, 2008; Morelle et collab., 2013; Niemi et collab., 2017). La répartition des ressources importantes pour les espèces fauniques impliquées à des fins d'alimentation, de reproduction ou d'abri et l'emplacement des corridors de déplacement peuvent également expliquer une partie de la variabilité dans ces collisions. Hurley et collab. (2008) ont d'ailleurs montré que les modèles incluant l'habitat prédisaient plus fidèlement l'emplacement des sites de collisions avec l'orignal (*Alces americanus*) dans les parcs nationaux du Mont Revelstoke et de Glacier (Colombie-Britannique) que tous ceux incluant seulement des variables relatives aux conducteurs (vigilance, visibilité, etc.). D'autres variables identifiées comme importantes sont la distance à la parcelle d'habitat de bonne qualité la plus proche ainsi que celle aux vallées (Dussault et collab., 2006). La distribution temporelle des collisions impliquant la faune semble également être liée à certaines périodes du cycle de vie des espèces impliquées, comme la dispersion et la reproduction (Morelle et collab., 2013), qui engendrent une augmentation des collisions au début de l'été et à l'automne (Dussault et collab., 2006). Une variation du nombre de collisions a aussi été notée selon les phases de la journée, car davantage d'accidents survenaient durant la nuit (Dussault et collab., 2006; Morelle et collab., 2013).

Mieux cibler les facteurs spatiotemporels expliquant les collisions passées représente la première étape dans le développement d'une méthode proactive d'atténuation des risques de collisions futures dans le cadre de projets de développement routier (Neumann et collab., 2012). Sur cette base, notre objectif était de caractériser les patrons spatiotemporels de collisions impliquant l'orignal et le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) le long d'une route majeure reliant deux provinces canadiennes (Québec et Nouveau-Brunswick). Nous avons émis l'hypothèse que le risque de collision pouvait être influencé par l'activité humaine, les patrons de déplacement de la faune et la capacité des conducteurs à détecter les animaux sur ou en bordure de la chaussée. Nous prédisions donc que ce risque augmenterait là où la route était plus sinueuse et durant la nuit, à l'aube

et au crépuscule (des variables influençant la visibilité et le temps de réaction du conducteur), mais aussi durant les fins de semaine et les mois d'été (de mai à août, soit quand le débit routier devrait être plus élevé). De plus, nous avons émis l'hypothèse que le risque de collision serait modulé par des caractéristiques d'habitat favorables aux cervidés et par leur taux de déplacement. À ce chapitre, nous prédisions que les collisions avec l'orignal et le cerf de Virginie se produiraient plus souvent à proximité des mares salines, des vallées et des habitats de bonne qualité qui supportent généralement de plus grandes densités de cervidés.

Matériel et méthodes

Aire à l'étude

Notre étude s'est déroulée aux abords de l'autoroute Claude-Béchar (autoroute 85, anciennement appelée route 185), située dans la région administrative du Bas-Saint-Laurent (sud-est du Québec, Canada), dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*). Les principales essences forestières sont le sapin baumier (*Abies balsamea*), l'épinette blanche (*Picea glauca*), le bouleau jaune et le bouleau blanc (*B. papyrifera*) (Robitaille et Saucier, 1998). Les espèces de grands mammifères qu'on y trouve sont l'orignal, le cerf de Virginie, l'ours noir (*Ursus americanus*) et le coyote (*Canis latrans*). Les densités d'originaux sont parmi les plus élevées de l'est du Canada, en réponse à l'extirpation du loup gris (*Canis lupus*) de la rive sud du fleuve Saint-Laurent depuis environ 150 ans, à l'aménagement intensif des forêts bas-laurentiennes ainsi qu'à l'application de plans de gestion favorables à la croissance d'originaux depuis 1994. Par conséquent, les densités moyennes y sont de 0,5 orignal/km² (MFFP, 2016). Cette région est caractérisée par une altitude moyenne de 290 m avec des pentes de 7 % en moyenne (Robitaille et Saucier, 1998). La température moyenne annuelle atteint 2,5 °C, et les précipitations annuelles varient de 900 à 1000 mm, dont 35 % tombent sous forme de neige. Durant l'hiver, le couvert neigeux varie de 350 à 400 cm. Le paysage est dominé par des terres à vocation forestière (~85 %) et agricole (~15 %) (Robitaille et Saucier, 1998). Plusieurs petits villages ruraux sont distribués dans la région.

L'autoroute Claude-Béchar est le principal tronçon routier reliant la ville de Rivière-du-Loup (Québec) à la frontière du Nouveau-Brunswick. Cette route fait présentement l'objet de travaux d'élargissement depuis 2001 et passera, au terme des travaux, d'une route à deux voies à une autoroute à quatre voies séparées par un terre-plein central.

Données sur les collisions avec des cervidés

Nous avons consulté les archives de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) sur les collisions routières impliquant la faune et en avons extrait les données de collisions enregistrées sur l'autoroute Claude-Béchar de 1990 à 2015. Pour chaque incident rapporté à la SAAQ, la borne kilométrique la plus proche, la limite de vitesse permise, la date

de la collision, l'espèce et le nombre d'animaux impliqués dans la collision ont été notés. Depuis 2010, l'espèce impliquée dans une collision est systématiquement notée dans les rapports d'accident. Cependant, la base de données 1990-2010 a dû être complétée par les responsables du ministère des Transports (MTQ) avec les notes prises par les policiers directement sur la scène d'accident. Nous n'avons conservé que les collisions avec des cervidés (orignal et cerf de Virginie) pour les analyses, puisque les autres espèces de grands mammifères (ours et coyote) n'étaient impliquées que dans une faible proportion des collisions rapportées.

Données géomatiques

Nous avons utilisé les cartes écoforestières au 1:20000 du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP) mises à jour annuellement pour y intégrer les perturbations naturelles et anthropiques. Les polygones de couvert forestier ont été classifiés dans 11 catégories: coupes 0-5 ans, coupes 6-20 ans, peuplements en régénération (21-40 ans), peuplements immatures (41-80 ans), peuplements de feuillus matures (> 80 ans), peuplements de résineux matures (> 80 ans), perturbations naturelles (feux et épidémies d'insectes de 0 à 20 ans), milieux humides, eau, autre origine anthropique (habitats fortement perturbés par l'activité humaine) et une catégorie «autres» amalgamant tous les polygones qui ne répondaient pas aux critères précédents. Nous avons utilisé les cartes routières, topographiques et de localisation des ravages d'originaux et de cerfs de Virginie du MFFP. Nous avons représenté graphiquement les fonctions de sélection des ressources ou RSF (de l'anglais *Resource selection functions*) (Manly et collab., 2002) établies par Laliberté et St-Laurent (soumis) sur les données télémétriques de cerf de Virginie utilisées par Lesage et collab. (2000) et d'orignal provenant de la région du Témiscouata et de Rivière-du-Loup (M.-H. St-Laurent, données non publiées) afin de recenser les parcelles d'habitat pour lesquelles la probabilité relative d'occurrence était élevée (les 2,5 % des habitats les mieux classés pour l'orignal et les 10 % pour le cerf). Les pourcentages sélectionnés différaient selon l'espèce en raison de la forte probabilité d'occurrence de l'orignal dans l'aire d'étude. Ceci a permis de créer une variable d'habitat de haute qualité. Le tracé de l'autoroute Claude-Béchard géoréférencé par le MTQ a servi à calculer un indice de sinuosité de l'autoroute pour chaque kilomètre de route en divisant la distance euclidienne entre les deux extrémités de chaque tronçon de 1 km d'autoroute par la longueur du tronçon (c.-à-d. 1 km); ainsi, une ligne droite a une valeur maximale de 1 et une route sinueuse a une valeur inférieure à 1. Nous avons identifié l'emplacement des mares salines de même que celui des lampadaires (créant ainsi un indice binaire de luminosité: présence ou absence d'éclairage artificiel) lors de visites sur le terrain. Les données climatiques et météorologiques le long de l'axe routier ont été fournies par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec.

Toutes les analyses géomatiques ont été réalisées à l'aide du logiciel ArcMap 10.1 (ESRI Inc., 2011).

Analyse des patrons temporels de collisions

Nous avons évalué l'effet du mois, du jour de la semaine et des phases du jour (aube, jour, crépuscule et nuit) sur la distribution temporelle des collisions routières impliquant les cervidés. Les phases du jour ont été identifiées à l'aide des heures officielles de lever et de coucher du soleil (NRC, 2017), les périodes «aube» et «crépuscule» ont été délimitées en ajoutant et en soustrayant 30 minutes à l'heure du lever et du coucher du soleil, respectivement.

Pour chaque espèce, les collisions ont été groupées par année. Le nombre de collisions a ensuite été compilé par période. Nous avons évalué l'effet des différentes périodes sur le nombre de collisions pour chaque espèce en utilisant des régressions de Poisson. La durée des périodes a été prise en compte (variable de pondération d'échelle) pour gérer la variation de la durée d'ensoleillement au fil de l'année. Cette variable sert à corriger pour la période d'exposition variable (c.-à-d. la durée des périodes) dans une régression de Poisson. Nous avons ensuite utilisé la macro MULT (Piepho, 2012) avec une correction de Bonferroni pour obtenir des comparaisons multiples des moindres carrés moyens. Les analyses temporelles ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2017).

Analyse des patrons spatiaux de collisions

Nous avons évalué l'effet des caractéristiques spatiales sur la probabilité de collision avec un cervidé, en comparant les caractéristiques observées à chaque site de collision avec celles trouvées à un nombre égal de points aléatoires répartis le long de l'axe routier. Les variables relatives à l'habitat qui ont été considérées comprenaient l'altitude (m), la pente (°), le couvert forestier (11 classes), la distance à la mare saline la plus proche (m), la distance au ravage le plus proche (m) et la distance à la parcelle d'habitat de qualité la plus proche (DPHQ, m). Comme dans Leblond et collab. (2011), nous avons testé différents rayons de zones tampons (de 500 à 2500 m) afin de contextualiser la variation d'altitude et de pente autour des points de collisions ou des points aléatoires. Les rayons les plus pertinents (selon le Critère d'Information Bayésien: BIC, pour *Bayesian Information Criterion*) étaient de 500 m pour les deux variables et pour les deux espèces. Une fonction de distance déclinante ($e^{-\alpha/d}$ Carpenter et collab., 2010) a été utilisée pour atténuer l'influence d'une distance croissante des éléments rarement rencontrés (c.-à-d. mares salines, ravages, DPHQ). La meilleure valeur d'alpha (α) a été déterminée suivant la méthode de Lesmerises et collab. (2018). Seule la variable de DPHQ pour l'orignal a été transformée en distance déclinante avec un α de 150, ce qui faisait plafonner l'effet de cette variable au-delà de 1 km.

Les variables météorologiques considérées comprenaient la température maximale quotidienne (°C), la température minimale quotidienne (°C) et les précipitations quotidiennes en pluie (variable binaire: présence ou absence de pluie dans la journée). Dans le but d'attribuer des conditions météorologiques aux points aléatoires, nous avons assigné aléatoirement une date dans une fenêtre de ± 1 semaine autour de la date d'une collision et avons attribué au point aléatoire les conditions météorologiques correspondant à cette date.

Les variables relatives aux conditions routières comprenaient l'indice de sinuosité et l'indice de luminosité. Nous avons utilisé le facteur de l'inflation de la variance et l'indice de condition pour vérifier l'absence de multicollinéarité entre nos variables indépendantes; la température minimale a été retirée des analyses en raison d'une forte colinéarité avec la température maximale. Nous avons construit des modèles candidats de régression logistique conditionnelle en utilisant la librairie *survival* du logiciel R (Therneau, 2015). Nous avons utilisé le BIC pour identifier le modèle le plus parcimonieux et avons utilisé une validation croisée (Boyce et collab., 2002) pour évaluer la robustesse de ce dernier modèle. Les analyses spatiales ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2017).

Résultats

Analyses temporelles

La base de données de collisions routières comprenait 198 collisions impliquant l'orignal et 252 collisions impliquant le cerf de Virginie. Pour les deux espèces, seuls les mois (orignal: $F_{(10, 288)} = 125,84$, $P < 0,001$; cerf: $F_{(11, 315)} = 16,83$, $P < 0,001$) et les phases du jour (orignal: $F_{(3, 288)} = 385,22$, $P < 0,001$; cerf: $F_{(13, 315)} = 646,40$, $P < 0,001$) avaient un effet sur la variation du nombre de collisions. Le jour de la semaine n'avait pas d'effet sur la variation du nombre de collisions pour les deux cervidés (orignal: $F_{(16, 288)} = 0,88$, $P = 0,512$; cerf: $F_{(6, 315)} = 1,06$, $P = 0,3838$). Ainsi, une augmentation des collisions durant les mois d'été était observable pour l'orignal (figure 1a). Pour le cerf, une première augmentation du nombre de collisions était visible en avril et une deuxième à l'approche de l'automne (figure 1b). La distribution des collisions en fonction des phases du jour était similaire pour les deux espèces (figure 1c et 1d), à savoir un plus grand nombre de collisions à l'aube et au crépuscule que durant la nuit et le jour, ainsi qu'un plus grand nombre de collisions la nuit que le jour. Les analyses n'ont révélé aucune différence significative entre le nombre de collisions à l'aube et celles au crépuscule.

Analyses spatiales

À partir des données complètes, seules les collisions comprises durant les mois où les collisions impliquant les cervidés étaient plus fréquentes ont été utilisées pour réaliser les analyses spatiales. À la lumière des résultats de notre analyse temporelle, les collisions retenues étaient celles d'avril à septembre pour l'orignal (Figure 1a) et d'avril à octobre pour le cerf de Virginie (Figure 1b). Cette approche nous a permis de réduire le biais associé aux rares collisions survenues durant

Tableau 1. Modèles candidats de régression logistique conditionnelle pour l'analyse spatiale des collisions impliquant l'orignal sur l'autoroute Claude-Bécharde de 1990 à 2015 ($n = 155$). Dans la partie inférieure, les coefficients (β), erreurs types et valeurs P sont fournis pour le modèle le plus parcimonieux (en gras). Un astérisque indique un effet significatif ($P < 0,05$).

Modèle	k	n	ΔBIC
Luminosité + Sinuosité + Pluie quotidienne	3	155	43,28
Température maximale + Pluie quotidienne	2	155	47,33
Couvert forestier + Distance à une parcelle d'habitat de bonne qualité (DPHQ)	9	155	50,12
DPHQ + Proportion de milieu humide	2	155	37,79
Pente + Altitude + DPHQ + DPHQ $\times$ Pente + Altitude $\times$ Pente	5	155	0
Distance à un ravage + Distance à une mare saline	2	155	31,45
Complet	17	155	66,08

	β	Erreur type	Valeur de z	P
Pente	-0,3382	0,2740	-1,23	0,217
Altitude	0,0087	0,0037	2,34	0,019*
DPHQ	0,0005	0,0004	1,23	0,217
Pente $\times$ DPHQ	-0,0003	0,0001	-2,30	0,021*
Pente $\times$ Altitude	0,0021	0,0010	2,15	0,031*

l'hiver. De plus, les collisions pour lesquelles certaines variables météorologiques n'étaient pas disponibles ont été retirées de la base de données. La taille de l'échantillon a donc été réduite à 155 collisions impliquant l'orignal et à 176 collisions impliquant le cerf de Virginie.

De tous les modèles candidats visant à expliquer la répartition spatiale des collisions impliquant l'orignal, le modèle le plus parcimonieux comprenait l'altitude, la pente, la DPHQ ainsi que des interactions entre ces variables (tableau 1). L'altitude, de même que les interactions entre la pente et l'altitude, et entre la pente et la DPHQ, avaient un effet sur la probabilité relative d'accident (tableau 1; figure 2). Ainsi, le risque de collision était plus élevé à plus haute altitude, mais il diminuait lorsque la pente augmentait (figure 2). Le risque de collision était également plus élevé lorsque l'on se trouvait à proximité d'une parcelle d'habitat de bonne qualité pour l'orignal. Pour leur part, les sites présentant une faible pente et localisés loin d'une parcelle d'habitat de bonne qualité présentaient aussi un risque de collision élevé. Ce modèle était robuste et départageait avec succès les collisions des points aléatoires dans 71,6% des cas ($\pm$ un écart-type de 7,0).

Pour ce qui est du cerf de Virginie, le modèle le plus parcimonieux incluait seulement la proportion de peuplements résineux matures dans une zone tampon de 500 m de rayon

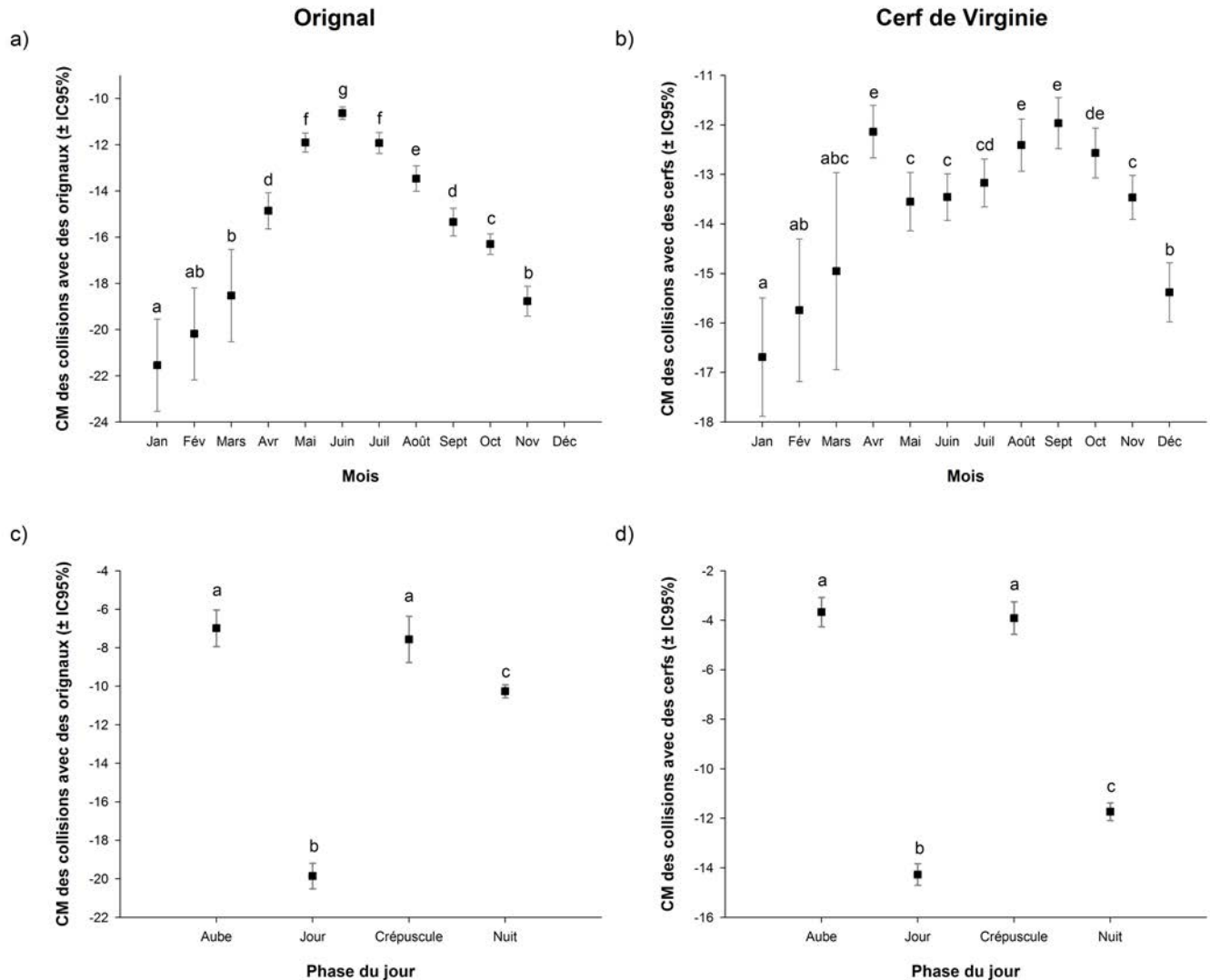


Figure 1. Moindres carrés moyens (CM) des collisions impliquant l'orignal ($n = 198$) par mois (a) et par phase du jour (c), et le cerf de Virginie ($n = 176$) par mois (b) et par phase du jour (d) ($\pm$ intervalle de confiance à 95 %). Aucune collision avec l'orignal n'a été recensée en décembre. Les carrés moyens représentent l'estimé moyen de l'effet des mois et des phases du jour une fois pris en compte l'effet des autres périodes. Ceux surmontés par des lettres différentes sont considérés comme statistiquement différents les uns des autres, alors que ceux qui portent une même lettre sont statistiquement semblables.

ainsi que la sinuosité de la route (tableau 2). Dans ce modèle, un risque de collision plus élevé survenait lorsque la route était moins sinueuse et que l'on se trouvait près d'un peuplement de résineux matures (tableau 2). Cependant, ce modèle n'était que peu robuste, puisqu'il ne réussissait à départager les collisions des points aléatoires que dans 60,3 % des cas ($\pm$ un écart-type de 7,4).

Discussion

Nos résultats montrent que les aspects temporels et spatiaux jouent tous deux un rôle dans la répartition des collisions impliquant les cervidés sur l'autoroute Claude-Béchar. Par contre, ces deux aspects semblent expliquer la distribution des collisions à des degrés différents selon l'espèce.

Analyse temporelle

La majorité des collisions routières impliquant l'orignal sur l'autoroute Claude-Béchar se produisaient de mai à août. Des résultats similaires ont été obtenus ailleurs au Québec (Dussault et collab., 2006), à Terre-Neuve (Joyce et Mahoney, 2001) et en Finlande (Haikonen et Summala, 2001). Cette augmentation du nombre mensuel de collisions avec l'orignal est souvent expliquée par une modification comportementale. En effet, à l'approche de l'été, les orignaux se rapprochaient des bordures de routes pour avoir accès aux mares salines créées par le lessivage des sels de déglacage (Laurian et collab., 2007) de même qu'à une végétation disponible plus hâtivement en milieu ouvert (Rea, 2003). La répartition mensuelle des collisions est toutefois différente

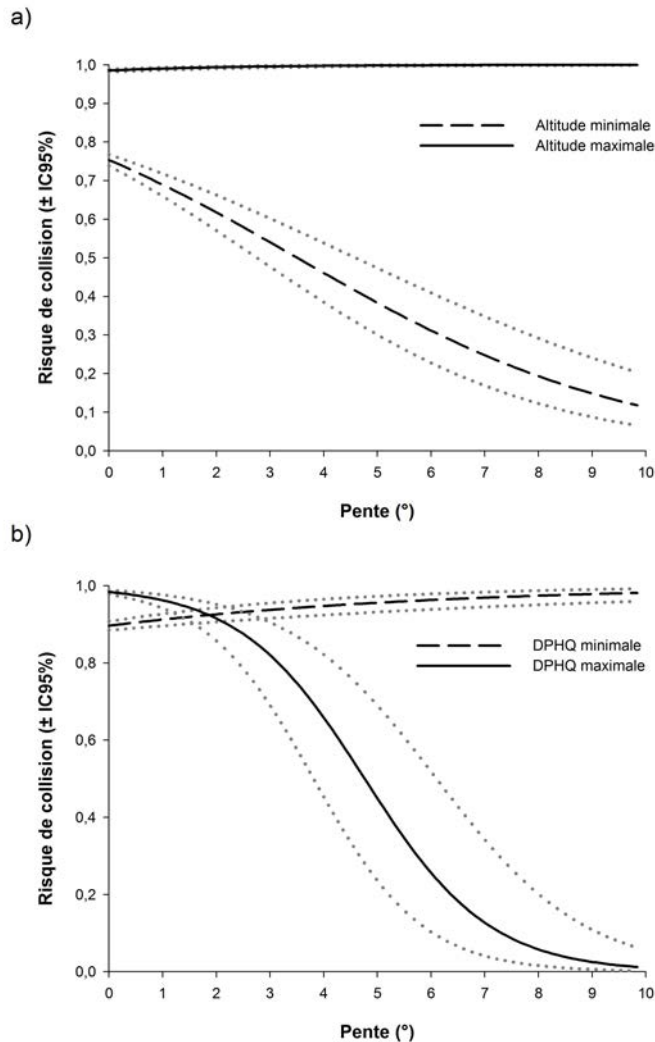


Figure 2. Représentation graphique de l'effet des interactions entre a) la pente et l'altitude; et b) entre la pente et la distance à la parcelle d'habitat de qualité la plus proche (DPHQ) sur le risque d'entrer en collision avec un orignal sur l'autoroute Claude-Bécharde dans le sud-est du Québec, Canada. Les lignes pointillées grises délimitent l'intervalle de confiance à 95 %.

pour le cerf de Virginie. On observe une forte augmentation des collisions en avril, puis une deuxième augmentation de juillet à novembre, avec un maximum en septembre. Ces deux augmentations coïncident avec deux périodes de l'année où le taux de mouvement des cerfs augmente, en rapport avec la dispersion post-hivernale (sortie des aires d'hivernage) et le rut (Haikonen et Summala, 2001; Sudharsan et collab., 2006).

La répartition quotidienne des collisions était similaire pour les deux espèces de cervidés. On observait une augmentation du nombre de collisions à l'aube et au crépuscule, ce qui pourrait être liée à l'augmentation du taux d'activité des cervidés durant ces périodes (Haikonen et Summala, 2001; Krauze-Grytz et collab., 2017) ainsi qu'à une diminution de la capacité des conducteurs à détecter les

Tableau 2. Modèles candidats de régression logistique conditionnelle pour l'analyse spatiale des collisions impliquant le cerf de Virginie sur l'autoroute Claude-Bécharde de 1990 à 2015 ($n = 170$). Dans la partie inférieure, les coefficients (β), erreurs types et valeurs P sont fournis pour le modèle le plus parcimonieux (en gras). Un astérisque indique un effet significatif.

Modèle	k	n	ΔBIC
Luminosité + Sinuosité + Pluie quotidienne	3	170	10,49
Température maximale quotidienne + Pluie quotidienne	2	170	10,20
Couvert forestier + DPHQ	10	170	51,58
DPHQ	1	170	5,91
Proportion de résineux mature + Proportion de milieux perturbés par l'homme	2	170	4,21
Pente + Altitude	2	170	8,70
Pente + Altitude + Pente $\times$ altitude	3	170	13,42
Pente + Altitude + Altitude ²	3	170	13,39
Distance à un ravage + Distance à une mare saline	2	170	10,76
Sinuosité + Proportion de résineux matures	2	170	0
Complet	18	170	78,26

	β	Erreur type	Valeur de z	P
Sinuosité	1,509	4,524	1,97	0,049*
Proportion de peuplements de résineux matures	2,703	14,917	2,52	0,012*

animaux sur ou en bordure de la chaussée, et peut-être même une diminution de la vigilance des conducteurs (Mastro et collab., 2010).

Analyse spatiale

Les caractéristiques topographiques du paysage semblent influencer le risque de collision avec un orignal. En effet, nos résultats démontrent que ce risque augmente lorsque l'altitude relative augmente. De plus, la pente et la DPHQ de même que la pente et l'altitude interagissaient significativement sur le risque de collision avec un orignal. Selon nous, ces résultats peuvent s'expliquer par le comportement des orignaux et la capacité des conducteurs à détecter un animal sur la route. Il a été démontré que les orignaux se déplacent le long des courbes de niveau (Leblond et collab., 2010) ce qui peut expliquer le risque élevé de collision lorsque la pente est faible. Le risque élevé de collision loin des parcelles d'habitat de bonne qualité, là où la pente est faible, appuie cette affirmation, car les orignaux se trouvant dans un habitat de faible qualité pourraient chercher à se déplacer pour atteindre des habitats de meilleure qualité. Le risque de collision plus élevé à haute

altitude relative peut s'expliquer par le fait que les orignaux suivis pour la présente étude utilisaient des habitats se situant à des altitudes variant de 306 à 486 m, ce qui représente la partie forestière de notre zone d'étude (457 m d'altitude étant le maximum observé pour les collisions), alors que les altitudes plus faibles sont principalement observées en milieu urbain le long de la côte et près des battures, des zones moins propices à la présence d'orignaux. Les orignaux se trouvent donc à une altitude relative plus élevée, expliquant l'effet positif de l'altitude relative sur le risque de collision.

Les collisions impliquant le cerf de Virginie survenaient plus fréquemment lorsque la route était plus rectiligne, suggérant potentiellement une augmentation de la vitesse des automobilistes (Huijser et collab., 2007) ainsi qu'un temps de réaction plus court. Par ailleurs, les collisions étaient plus fréquentes à proximité des peuplements de résineux matures, ce qui suggère que la probabilité d'occurrence relative est plus élevée pour le cerf près des aires d'hivernage de l'espèce (Wetzel et collab., 1975). Une analyse préliminaire a été effectuée afin d'inclure seulement la ou les catégories d'habitat présentant le plus grand ratio utilisé/disponible dans les modèles. Pour le cerf de Virginie, ces habitats étaient les peuplements de résineux matures et les habitats fortement perturbés par l'activité humaine. En considérant les patrons mensuels de distribution des collisions avec le cerf de Virginie, il appert que l'influence des peuplements résineux se reflète par la sortie imprévisible des aires d'hivernage après la fonte de la neige. La faible robustesse du modèle spatial indique toutefois que les collisions avec le cerf sont spatialement plus imprévisibles et que les facteurs temporels sont responsables d'une plus grande proportion de la variabilité dans la répartition des collisions impliquant le cerf de Virginie.

Conclusion

En conclusion, nos résultats fournissent des informations importantes qui pourraient orienter les stratégies d'atténuation des collisions routières avec les cervidés, particulièrement dans les régions agroforestières présentant de fortes densités de cervidés. Ces informations permettront de cibler des périodes pendant lesquelles et des sites sur lesquels la signalisation routière pourrait être adaptée, et où l'on pourrait considérer l'aménagement de structures (clôtures à grande faune, passages fauniques sous la chaussée, etc.) afin de réduire le nombre de collisions entre les véhicules et la grande faune.

Remerciements

Ce projet de recherche a été financé par le MTQ. Nous remercions J. Boucher, C. Dufour, M. Michaud, J. Côté, S. Rhéaume et L. Gratton pour les révisions sur les versions précédentes, F. St-Pierre pour les travaux de terrain, J. Frenette, É. Beaulieu et S. Lavoie pour le support logistique, B. Bussièrès pour l'accès aux données ainsi que A. Caron et S. Daigle pour l'aide en analyses statistiques. Nous tenons également à remercier les évaluateurs pour leurs commentaires constructifs à la suite de la soumission de ce manuscrit au *Naturaliste canadien*. ◀

Références

- BOYCE, M.S., P.R. VERNIER, S.E. NIELSEN et F.K.A. SCHMIEGELOW, 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, 157 : 281-300.
- CARPENTER, J., C. ALDRIDGE et M.S. BOYCE, 2010. Sage-grouse habitat selection during winter in Alberta. *Journal of Wildlife Management*, 74 : 1806-1814.
- DUSSAULT, C., M. POULIN, R. COURTOIS et J.-P. OUELLET, 2006. Temporal and spatial distribution of moose-vehicle accidents in the Laurentides Wildlife Reserve, Quebec, Canada. *Wildlife Biology*, 12 : 415-425.
- ESRI INC., 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Environmental Systems Research Institute, Redlands, Californie.
- 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.
- GROOT BRUINDERINK, G.W.T.A. et E. HAZEBROEK, 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology*, 10 : 1059-1067.
- HAIKONEN, H. et H. SUMMULA, 2001. Deer-vehicle crashes: Extensive peak at 1 hour after sunset. *American Journal of Preventive Medicine*, 21 : 209-213.
- HAWBAKER, T.J., V.C. RADELOFF, M.K. CLAYTON, R.B. HAMMER et C.E. GONZALEZ-ABRAHAM, 2006. Road development, housing growth, and landscape fragmentation in northern Wisconsin: 1937-1999. *Ecological Applications*, 16 : 1222-1237.
- HUIJSER, M.P., A. KOCIOLEK, P. MCGOWEN, A. HARDY, A.P. CLEVENGER et R. AMENT, 2007. Wildlife-vehicle collision and crossing mitigation measures: a toolbox for the Montana Department of Transportation. Final Report submitted by the Western Transportation Institute.
- HUIJSER, M.P., J.W. DUFFIELD, A.P. CLEVENGER, R.J. AMENT et P.T. MCGOWEN, 2009. Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada: a decision support tool. *Ecology and Society*, 14 : 15.
- HURLEY, M.V., R.K. RAPAPORT et C.J. JOHNSON, 2008. Utility of expert-based knowledge for predicting wildlife-vehicle collisions. *Journal of Wildlife Management*, 73 : 278-286.
- JOYCE, T.L. et S.P. MAHONEY, 2001. Spatial and temporal distributions of moose-vehicle collisions in Newfoundland. *Wildlife Society Bulletin*, 29 : 281-291.
- KRAUZE-GRYZ, D., M. ZMIHORSKI, K. JASINSKA, L. KWASNY et J. WERKA, 2017. Temporal pattern of wildlife-train collisions in Poland. *Journal of Wildlife Management*, 81 : 1513-1519.
- LABIBERTÉ, J. et M.-H. ST-LAURENT, soumis. Being at the wrong place at the wrong time: Moose and deer movement patterns influence wildlife-vehicle collision risk.
- LAURIAN, C., C. DUSSAULT, J.-P. OUELLET, R. COURTOIS, M. POULIN et L. BRETON, 2007. Behavioral adaptations of moose to roadside salt pools. *Journal of Wildlife Management*, 72 : 1094-1100.
- LEBLOND, M., C. DUSSAULT et J.-P. OUELLET, 2010. What drives fine-scale movements of large herbivores? A case study using moose. *Ecography*, 33 : 1102-1112.
- LEBLOND, M., J. FRAIR, D. FORTIN, C. DUSSAULT, J.-P. OUELLET et R. COURTOIS, 2011. Assessing the influence of resource covariates at multiple spatial scales: an application to forest-dwelling caribou faced with intensive human activity. *Landscape Ecology*, 26 : 1433-1446.
- LESAGE, L., M. CRÊTE, J. HUOT, A. DUMONT et J.-P. OUELLET, 2000. Seasonal home range size and philopatry in two northern white-tailed deer populations. *Canadian Journal of Zoology*, 78 : 1930-1940.
- LESIMERIS, F., F. DÉRY, C.J. JOHNSON et M.-H. ST-LAURENT, 2018. Spatiotemporal response of mountain caribou to the intensity of backcountry skiing. *Biological Conservation*, 217 : 149-156.
- LITVAITIS, J.A. et J.P. TASH, 2008. An approach toward understanding wildlife collisions. *Environmental Management*, 42 : 688-697.

- MANLY, B.F., L. McDONALD, D. THOMAS, T.L. McDONALD et W.P. Erickson, 2002. Resource selection by animals: Statistical design and analysis for field studies. Kluwer Academic, Dordrecht, Pays-Bas, 221 p.
- MASTRO, L.L., M.R. CONOVER et S.N. FREY, 2010. Factors influencing a motorist's ability to detect deer at night. *Landscape and Urban Planning*, 94: 250-254.
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2016. Inventaire aérien de la grande faune: Projet de la 85/185. Rapport technique, Gouvernement du Québec.
- MORELLE, K., F. LEHAIRE et P. LEJEUNE, 2013. Spatio-temporal patterns of wildlife collisions in a region with a high-density road network, *Nature Conservation*, 5: 53-73.
- NEUMANN, W.G. ERICSSON, H. DETTKI, N. BUNNEFELD, N.S. KEULER, D.O. HELMERS et V.C. RADELOFF, 2012. Difference in spatiotemporal patterns of wildlife road-crossings and wildlife-vehicle collisions. *Biological Conservation*, 145: 70-78.
- NIEMI, M., C.M. ROLANDSEN, W. NEUMANN, T. KUKKO, R. TIILKANEN, J. PUSENIUS, E.J. SOLBERG et G. ERICSON, 2017. Temporal patterns of moose-vehicle collisions with and without personal injuries. *Accident Analysis and Prevention*, 98: 167-173.
- [NRC] NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA, 2017. Sunrise/sunset calculator; [Accessed February 2017]. Disponible en ligne à : <https://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/services/sunrise/advanced.html>. [Visité le 2017-10-25].
- PIEPHO, H.P., 2012. A SAS macro for generating letter displays for pairwise mean comparisons. *Communications in Biometry and Crop Science*, 7: 4-13.
- R CORE TEAM, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en ligne à : <https://www.R-project.org/>. [Visité le 2017-08-16].
- REA, R.V., 2003. Modifying roadside vegetation management practices to reduce vehicular collisions with moose *Alces alces*. *Wildlife Biology*, 9: 81-91.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Ministère des Ressources naturelles, Publications du Québec, 213 p.
- SAS INSTITUTE INC., 2017. A guide to the SAS 9.4 and SAS Viya 3.2 programming documentation. Cary, Caroline du Nord, SAS Institute Inc.
- SEILER, A., J.-O. HELLDIN et C. SEILER, 2004. Road mortality in Swedish mammals: results of a drivers' questionnaire. *Wildlife Biology*, 10: 225-233.
- STEINER, W., F. LEISCH et K. HACKLANDER, 2014. A review on the temporal pattern of deer-vehicle accidents: Impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. *Accident Analysis and Prevention*, 66: 168-181.
- SUDHARSAN, K., S.J. RILEY et S.R. WINTERSTEIN, 2006. Relationship of autumn hunting season to the frequency of deer-vehicle collisions in Michigan. *Journal of Wildlife Management*, 70: 1161-1164.
- TARDIF, L.P. AND ASSOCIATES, INC., 2003. Collisions involving moto vehicles and large animals in Canada. Final Report, Transport Canada Road Safety Directorate, 44 p.
- THERNEAU, T., 2015. A Package for survival analysis in R. Version 2.38. Disponible en ligne à : <https://CRAN.R-project.org/package=survival>. [Visité le 2017-09-23].
- VAN DER REE, R., D.J. SMITH et C. GRILO, 2015a. The ecological effects of infrastructure and traffic: Challenges and opportunities of rapid global growth. Dans : van der Ree, R., D.J. Smith et C. Grilo (éd.). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons Ltd., Oxford, Royaume-Uni, p. 1-9. ISBN: 978-1-118-56818-7
- VAN DER REE, R., D.J. SMITH et C. GRILO, 2015b. *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons Ltd., Oxford, Royaume-Uni, 522 p.
- WETZEL, J.F., J.R. WAMBAUGH et J.M. PEEK, 1975. Appraisal of white-tailed deer winter habitats in Northern Minnesota. *Journal of Wildlife Management*, 39: 59-66.

LA TRAME
VERTE ET BLEUE
MÉTROPOLITAINE

Un réseau d'espaces naturels plus accessibles et mieux préservés

- Des parcs et espaces verts voués à la protection des écosystèmes et de la biodiversité
- Un meilleur accès aux milieux naturels en aménageant diverses infrastructures telles que des pistes multifonctionnelles, des belvédères, des sentiers et des bâtiments d'accueil
- La réalisation de projets structurants et mobilisateurs par les municipalités

**Une Trame verte et bleue, attirante et durable, pour la qualité de vie
des 800 000 citoyens de la région métropolitaine de Québec**

Pour en savoir plus sur le sujet : www.cmquebec.qc.ca

Un partenariat financier du milieu et de :
Communauté métropolitaine de Québec | Québec

28 MUNICIPALITÉS • 32 MILLIONS • 12 PROJETS