



Titre: Title:	Environnement routier et blessés cyclistes résultant d'une collision avec un véhicule : quels facteurs de risque dans un milieu régional faiblement densifié ?
Auteurs: Authors:	Marie-Soleil Cloutier, Ryan Séguin, & Nicolas Saunier
Date:	2019
Type:	Article de revue / Article
Référence: Citation:	Cloutier, M.-S., Séguin, R., & Saunier, N. (2019). Environnement routier et blessés cyclistes résultant d'une collision avec un véhicule : quels facteurs de risque dans un milieu régional faiblement densifié ? <i>Cybergeo</i> , 1-30. https://doi.org/10.4000/cybergeo.32087

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/4826/
--	---

Version:	Version officielle de l'éditeur / Published version Révisé par les pairs / Refereed
-----------------	--

Conditions d'utilisation: Terms of Use:	Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY)
---	--

Document publié chez l'éditeur officiel

Document issued by the official publisher

Titre de la revue: Journal Title:	Cybergeo
---	----------

Maison d'édition: Publisher:	OpenEdition
--	-------------

URL officiel: Official URL:	https://doi.org/10.4000/cybergeo.32087
---------------------------------------	---

Mention légale: Legal notice:

Cybergeo : European Journal of Geography

Aménagement, Urbanisme

2019

893

Environnement routier et blessés cyclistes résultant d'une collision avec un véhicule : quels facteurs de risque dans un milieu régional faiblement densifié ?

Road environment and cyclists injured from a collision with a motor vehicle: what risk factors in a regional, low density setting?

MARIE-SOLEIL CLOUTIER, RYAN SÉGUIN ET NICOLAS SAUNIER

<https://doi.org/10.4000/cybergeo.32087>

Résumés

Français English

L'importance accordée à la santé, à l'environnement et à la mobilité durable fait du vélo un choix de plus en plus privilégié comme mode de transport. Le cycliste demeure toutefois très vulnérable au moment d'une collision avec un véhicule motorisé, surtout en milieu périurbain et rural, où l'aménagement de la voirie est peu adapté à la pratique du vélo. L'objectif général de l'étude est de documenter les facteurs de risque reliés à l'environnement routier pour les collisions entre un cycliste et un véhicule motorisé dans un milieu dit « régional », moins dense sauf pour sa ville en son centre. Pour analyser les données de collisions, plusieurs méthodes ont été utilisées : l'estimation par noyau (*Kernel Density Estimation*), les statistiques de balayage de Kulldorff, la régression de Poisson et la régression logistique. Nos résultats montrent que les concentrations spatiales de collisions se situent principalement à proximité d'infrastructures cyclables et aux intersections. Certains facteurs de risque sont reconnus pour expliquer une collision (intersection ; présence d'infrastructures cyclables ; milieu urbain ; artères urbaines) ou la présence d'un blessé (absence d'infrastructures cyclables ; jeunes cyclistes [15 ans et moins] ; l'éclairage). En conclusion, notre étude portant sur les territoires peu denses produit des résultats convergents avec ceux de la

littérature existante sur les milieux urbains, mais montre aussi des spécificités. Les facteurs de risque semblables aux milieux urbains sont les intersections, les artères urbaines et l'âge des victimes ; les facteurs de risque propres aux régions à faible densité de population sont le milieu plus urbain, la présence d'infrastructures cyclables et l'éclairage (nuit).

The focus on health, the environment and sustainable mobility make cycling a preferred choice as a mode of transportation. However, cyclists are very vulnerable in the event of a collision with a motor vehicle, especially in suburban and rural areas where the planning of the road is much less suitable for cycling. The general objective of this study is to document the risk factors related to the road environment for collisions between a cyclist and a motor vehicle in a less dense “regional environment” (small and medium sized communities). To analyze collision data, several methods were used: Kernel Density Estimation, Kulldorff spatial scan statistics, Poisson regression and logistic regression. Our results show that the spatial concentrations of collisions are mostly near the cycling infrastructure and intersections. There are some risk factors to explain a collision (intersection; presence of cycling infrastructure; urban areas; urban arteries) and to explain an injured cyclist (lack of cycling infrastructure; young cyclists (15 years and under); lighting conditions).

In conclusion, our study on low-density environments produces results that converge with those of the existing literature on urban areas, but also shows some specific features. Similar risk factors to urban areas are intersections, urban arterials and the age of the victims and specific risk factors for low density areas are urban area, the presence of cycling infrastructure and lighting conditions (night).

Entrées d'index

Mots-clés : accidents de la route, risque routier, ville moyenne, analyse spatiale, mobilité active
Keywords : road accident, road risk, medium-sized city, spatial analysis, active mobility

Texte intégral

Introduction

¹ Depuis quelques années, le vélo prend de plus en plus de place dans la vie des Québécois. L'importance accordée à la santé, à l'environnement et à la mobilité durable en fait un choix privilégié comme activité de loisir ou comme mode de transport, bien que sa pratique demeure moins élevée qu'en Europe (Basset *et al.*, 2008). Dans ce contexte, plusieurs mesures sont maintenant prises en zone urbaine dense pour augmenter l'espace dédié aux cyclistes, favorisant ainsi un meilleur partage de la route et des conditions de déplacement plus sécuritaires. Rappelons que le cycliste est très vulnérable au moment d'une collision avec un véhicule, car le vélo, malgré le port du casque par son utilisateur, ne procure pas la protection physique d'un habitacle de voiture (Chen *et al.*, 2012). Cela a pour conséquence qu'environ 100 cyclistes sur 1000 doivent être hospitalisés et qu'environ 10 collisions sur 1000 sont mortelles, que le milieu environnant soit urbain ou rural. À titre de comparaison, lorsqu'un cycliste fait une chute, sans qu'un véhicule motorisé ne soit impliqué, 50 cyclistes sur 1000 doivent être hospitalisés et moins d'une collision sur 1000 est mortelle (Coulombe, 2011).

² Par ailleurs, ce risque accru pour tous les cyclistes lors d'une collision semble être amplifié en milieu périurbain et rural, en raison d'un réseau routier étendu et de vitesses plus élevées : les conditions de pratique du vélo y étant encore moins sécuritaires (Bil *et al.*, 2010 ; Biret, 2004 ; Yan *et al.*, 2011). Selon Fortier *et al.* (2009), les blessures subies par les cyclistes en milieu périurbain et rural sont plus sévères en raison de l'aménagement de la voirie peu adapté à la pratique du vélo et de la vitesse élevée des véhicules motorisés qui y circulent. Combinés, ces facteurs augmentent en effet le risque de décès. Dans le même ordre d'idées, Flahaut *et al.* (2004 ; 2003) soulignent l'importante relation qui existe entre l'environnement et la sécurité des usagers vulnérables, spécifiant

par le fait même que près de 30 % des collisions sont directement liées aux aménagements plutôt qu'aux comportements des personnes impliquées.

³ Pourquoi étudier le risque et la gravité des collisions entre un cycliste et un véhicule motorisé dans un milieu régional faiblement densifié ? L'objectif général de l'étude est de documenter les facteurs de risque liés à l'environnement routier pour les collisions entre un cycliste et un véhicule motorisé dans un milieu régional moins dense, incluant bien souvent une ville de plus grande densité et des villages plus ruraux aux alentours. Pour ce faire, nous proposons une analyse en deux temps : premièrement, nous explorerons la distribution spatiale des collisions dans ce type de territoire (points chauds, regroupements spatiaux), puis nous proposons de modéliser statistiquement les éléments de l'environnement routier pour mieux comprendre ce qui influence la probabilité de collision impliquant un cycliste ainsi que la présence ou non de blessures. La valeur ajoutée de ce travail est de s'intéresser à un milieu encore peu étudié et de le faire à partir de traitement d'analyse spatiale simple, mais parlante pour les autorités locales qui se préoccupent de la présence de points chauds sur leur territoire.

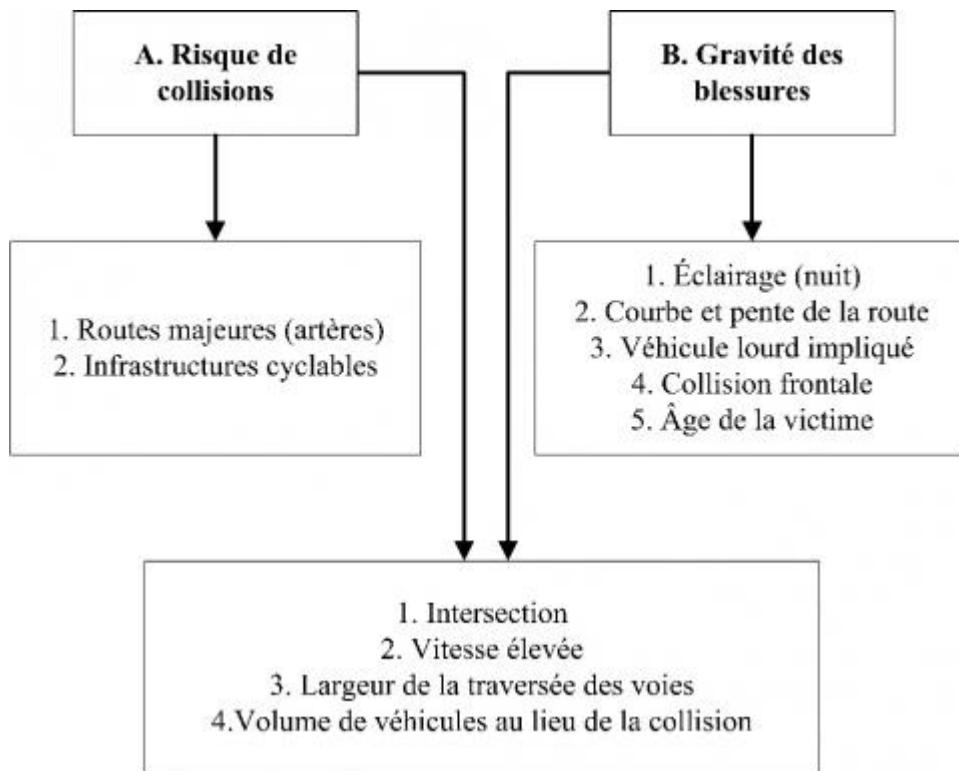
⁴ Il apparaît pertinent de se concentrer sur ces milieux dits « régionaux » notamment parce que les travaux existants demeurent peu nombreux, surtout en Amérique du Nord, et que la plupart se concentrent uniquement sur le nombre total de collisions. Or, il serait intéressant de distinguer les collisions avec et sans blessé (Dumbaugh, E et Li, 2011 ; Dumbaugh, Eric *et al.*, 2013 ; Romanow *et al.*, 2012). Pour ce qui est de la gravité, encore moins présente dans les travaux actuels, elle gagnerait à faire l'objet d'analyses intégrant l'environnement bâti (Zahabi *et al.*, 2011).

⁵ Finalement, il semble que les recherches existantes se soient surtout concentrées sur les régions urbaines les plus densément peuplées, tandis que les milieux régionaux hors région métropolitaine, où la part modale du vélo est plus faible, n'ont guère reçu d'attention (Hamann et Peek-Asa, 2013 ; Loo et Tsui, 2010 ; Vandenbulcke, G. *et al.*, 2014). Or, comme le mentionnent plusieurs auteurs, les cyclistes qui circulent en milieu périurbain et rural ont un risque beaucoup plus élevé d'être impliqués dans une collision avec un véhicule motorisé et d'être hospitalisés, ce qui laisse supposer que le niveau de gravité des blessures subies est plus sévère (Amsden et Huber, 2006 ; Fortier, 2009 ; Meuleners *et al.*, 2007 ; Vandenbulcke, Grégory *et al.*, 2009). Il est probable que les caractéristiques de ces collisions soient différentes dans ces milieux comparativement aux régions urbaines plus densément peuplées. Il nous apparaît donc important d'approfondir les connaissances sur les régions moins densément peuplées et sur les éléments de l'environnement routier qui sont en lien à la fois avec le risque de collision, mais aussi la gravité des blessures.

Sécurité et cyclistes sur la route

⁶ Lorsqu'il est question de sécurité pour les cyclistes, les travaux scientifiques s'intéressent surtout à deux volets, en même temps ou séparément : le risque de collision (habituellement mesuré en probabilité d'occurrence) et la gravité des blessures en résultant (Figure 1). Il est important de bien comprendre comment l'environnement routier peut contribuer à la sécurité des cyclistes, car l'amélioration de cet environnement permettrait sans doute de réduire les collisions et la gravité des blessures pour les usagers vulnérables de plus en plus nombreux que sont les cyclistes (Reynolds *et al.*, 2009).

Figure 1 : Les facteurs de risque des collisions entre un véhicule et un cycliste



7 Les caractéristiques de l'environnement routier telles que la hiérarchie routière (rues locales ou grandes routes, aussi appelées « artères » en Amérique du Nord) et les infrastructures de transport spécifique (piste cyclable) sont les premiers éléments étudiés lorsqu'il est question de risque de collision. De même, si les travaux sur la gravité des blessures des cyclistes impliqués dans une collision avec un véhicule s'intéressent généralement aux différents éléments de l'environnement routier, ils s'attardent aussi aux circonstances de la collision et aux caractéristiques des victimes. À titre indicatif, on peut penser à l'éclairage (jour/nuit, lampadaire), à la présence d'une courbe ou d'une pente, à l'implication d'un véhicule lourd, au type de collision et à l'âge de la victime. Un dernier sous-groupe de facteurs de risques est aussi reconnu pour augmenter à la fois les chances de collision et la gravité des blessures. Celui-ci regroupe essentiellement des caractéristiques de l'environnement routier au lieu de la collision, à savoir la présence d'une intersection, la vitesse autorisée, la largeur de la traversée (pour les collisions aux intersections) et le débit de véhicules.

Le risque de collision sur route impliquant un cycliste

8 Aménagées de manière à favoriser la fluidité des automobiles, notamment en raison du nombre élevé de voies et de la largeur de la chaussée, les grandes routes sont largement surreprésentées dans les collisions impliquant un cycliste (Dumbaugh et Li, 2011 ; Dumbaugh *et al.*, 2013). De plus, lorsqu'on se retrouve en milieu plus dense, ces routes croisent bien souvent des rues locales et commerciales, ce qui multiplie les zones de chocs potentiels. Ces configurations ont pour conséquence de réduire le champ de vision des automobilistes et d'augmenter de la distance de freinage nécessaire en raison des vitesses permises plus élevées — ce qui, encore une fois, augmente les risques de collision impliquant un cycliste.

9 Par ailleurs, de récents travaux ont montré que la présence d'infrastructures cyclables réduit le risque de collision entre un cycliste et un véhicule motorisé (Chen *et al.*, 2012 ; Hamann et Peek-Asa, 2013 ; Romanow *et al.*, 2012 ; Thomas et Derobertis, 2013). Ces infrastructures induisent en effet généralement une réduction de la vitesse par les

automobilistes, les cyclistes étant plus visibles ou étant, tout simplement, plus nombreux à circuler à ces endroits. Jacobsen (2003) a d'ailleurs testé l'hypothèse selon laquelle le nombre élevé de cyclistes aurait un effet protecteur et ses résultats ont montré que, bien qu'une relation causale ne puisse être établie et que l'environnement bâti n'y soit pas inclus, cet effet se fait clairement sentir dans l'historique des collisions à certains endroits. Cependant, l'inverse (le nombre élevé de cyclistes augmenterait le risque) a aussi été exploré dans d'autres travaux sur la présence d'infrastructures cyclables (Johnson, 2013). Hamann et Peek-Asa (2013) et Chen *et al.* (2012) affirment pour leur part que la séparation des cyclistes et des automobiles avec marquage au sol (chaussée désignée, bande cyclable unidirectionnelle) a le potentiel de réduire les interactions entre les usagers de la route, aussi appelé conflits de trafic, puisque cela augmente l'espace que les automobilistes laissent aux cyclistes sur la chaussée. Les pistes cyclables bidirectionnelles avec une séparation physique du trafic automobile (terre-plein, voitures stationnées) permettent également de réduire les collisions pour les cyclistes (Loo et Tsui, 2010 ; Lusk *et al.*, 2013). La revue des écrits de Thomas et Derobertis (2013) leur permet par ailleurs d'affirmer qu'une bande cyclable unidirectionnelle est généralement plus sécuritaire qu'une piste cyclable bidirectionnelle.

La gravité des blessures des cyclistes impliqués

10 Les travaux actuels ont, par ailleurs, démontré un lien entre la faible luminosité, comme celle induite par l'absence d'éclairage sur rue (lampadaire) la nuit, et la gravité des conséquences d'une collision pour le cycliste. Une des hypothèses retenues pour expliquer cela est que la visibilité est réduite par rapport au jour, et donc que la manœuvrabilité est plus restreinte et que le temps de réaction est plus long, tant pour l'automobiliste que pour le cycliste impliqué (Bil *et al.*, 2010 ; Boufous *et al.*, 2012 ; Eluru *et al.*, 2008 ; Kim, Jk. *et al.*, 2007 ; Yan *et al.*, 2011). À plus haute vitesse, le choc de la collision est plus violent.

11 Tout comme l'éclairage, la présence d'une courbe réduit la visibilité et la manœuvrabilité, tant pour l'automobiliste que pour le cycliste, ce qui en fait un facteur de risque supplémentaire (Boufous *et al.*, 2012 ; Kim, Jk. *et al.*, 2007 ; Moore *et al.*, 2011). Quant à la présence d'une pente, elle augmente passivement la vitesse des véhicules motorisés, mais surtout celle des cyclistes, ce qui cause un transfert d'énergie plus élevé, ainsi que des blessures plus graves lors de l'impact (Allen-Mulley *et al.*, 2014 ; Klop et Khattak, 1999). De même, la collision frontale occasionne généralement des blessures plus graves en raison de la force de l'impact, bien souvent à plus haute vitesse, notamment sur des routes où les limites de vitesse sont de 70 à 90 km/h (Bil *et al.*, 2010 ; Boufous *et al.*, 2012 ; Eluru *et al.*, 2008 ; Kim *et al.*, 2007 ; Yan *et al.*, 2011).

12 Finalement, plusieurs auteurs rappellent que les cyclistes de plus de 50 ans sont plus gravement blessés (Boufous *et al.*, 2012 ; Chong *et al.*, 2010 ; Kim, Jk. *et al.*, 2007), à la fois en raison de leur état médical préalable et de leur temps de perception et de réaction qui peut être plus lent lors de la collision (Klassen *et al.*, 2014). Cette variable doit toutefois être interprétée avec prudence, puisque les classes d'âges utilisées pour définir les personnes âgées ne sont pas les mêmes dans toutes les études (50 ans et plus ; 55 ans et plus ; 60 ans et plus ; 65 ans et plus). Pour les jeunes cyclistes (14 ans et moins), Kaplan *et al.* (2014) sont les seuls auteurs affirmant qu'ils ont plus de risque d'être gravement blessés.

Des études qui combinent les deux : risque de collision et gravité des blessures

13 La présence d'une intersection en tant que facteur de risque de collision a été maintes fois rappelée dans les études sur les cyclistes. En effet, une grande proportion des

collisions dans les travaux recensés ont lieu à proximité d'une intersection (moins de 20 mètres), notamment en raison de la complexité accrue de la situation pour les usagers de la route à ces endroits (nombreuses voies et signalisations), et d'un plus grand nombre d'interactions et de conflits de trafic entre les véhicules et les vélos (Dumbaugh, E et Li, 2011 ; Dumbaugh, Eric *et al.*, 2013 ; Kaplan et Prato, 2013 ; Siddiqui *et al.*, 2012 ; Stone et Broughton, 2003 ; Vandenbulcke, G. *et al.*, 2014). Les résultats sont par ailleurs contradictoires quant à l'effet de la présence d'une intersection sur la gravité des blessures. Les résultats de Zahabi *et al.* (2011) et de Klassen *et al.* (2014) démontrent qu'une collision à une intersection augmente la gravité des blessures, en particulier lorsqu'il existe une signalisation (panneau ARRÊT, panneau CÉDEZ, feu de circulation). Ces auteurs font d'ailleurs l'hypothèse que les automobilistes et les cyclistes évaluerait moins ce qui se passe dans leur environnement lorsqu'un panneau signale la direction et la priorité du trafic à une intersection donnée, ce qui peut mener à une collision due à un manque de vigilance. À l'opposé, Eluru *et al.* (2008) affirment que les collisions aux intersections avec signalisation sont généralement moins graves pour la raison inverse puisque les automobilistes réduiraient leur vitesse à l'approche d'une intersection, améliorant ainsi leur perception de la présence d'autres usagers de la route tels les cyclistes. Lorsqu'il y a aménagement d'infrastructures cyclables, le risque de collision devient plus élevé aux intersections, où des mesures sont rarement prises pour tenir compte de ce type d'aménagement (Chen *et al.*, 2012). En ce sens, plusieurs mesures appliquées en Europe pourraient davantage être utilisées en Amérique du Nord comme le sas vélo et le marquage au sol avec couleur. La mise en place de mesures spécialement conçues pour les cyclistes aux intersections permettrait donc de réduire les collisions ainsi que les blessures pour les cyclistes (Thomas et Derobertis, 2013).

14 La vitesse des véhicules motorisés, mesurée *via* la vitesse autorisée ou la vitesse réelle, demeure une autre variable importante à la fois pour le risque de collision et la gravité des blessures. De manière générale, les auteurs s'entendent tous pour dire qu'une vitesse élevée correspond à des collisions plus fréquentes et plus violentes entre l'automobiliste et le cycliste (Bil *et al.*, 2010 ; Boufous *et al.*, 2012 ; Eluru *et al.*, 2008 ; Johnson, 2013 ; Kaplan et Prato, 2013 ; Kim, Myungseob *et al.*, 2012 ; Klop et Khattak, 1999 ; Siddiqui *et al.*, 2012 ; Vandenbulcke, G. *et al.*, 2014 ; Yan *et al.*, 2011). À contrario, l'étude de Stone et Broughton (2003) démontre que le risque de collision augmente graduellement avec la hausse de la limite de vitesse.

15 Il a été démontré qu'un niveau élevé de trafic de véhicules lourds augmente le risque de collision. En effet, la configuration des véhicules lourds crée plusieurs angles morts, c'est-à-dire des endroits autour du véhicule où les conducteurs n'ont aucune visibilité lorsqu'ils effectuent des virages, ce qui limite la marge de manœuvre des cyclistes (Vandenbulcke *et al.*, 2014). De plus, la masse plus importante des véhicules lourds fait en sorte que la force de l'impact est bien plus grande par rapport aux voitures (Allen-Munley *et al.*, 2004 ; Eluru *et al.*, 2008 ; Kim *et al.*, 2007 ; Moore *et al.*, 2011 ; Yan *et al.*, 2011). De plus, ces véhicules ont généralement un capot plus élevé, frappant ainsi le cycliste plus haut sur le corps : l'impact direct à la tête est ainsi plus fréquent, ce qui augmente la gravité de la collision (Eluru *et al.*, 2008 ; Kim *et al.*, 2007).

16 Puisque la durée d'exposition du cycliste à une interaction potentielle avec un véhicule est plus élevée si la chaussée est très large, cette caractéristique de la géométrie des rues est reconnue pour augmenter à la fois le risque et la gravité (Hamann *et al.*, 2013). De plus, lorsque la largeur de la voie est moindre, cela encourage les automobilistes à circuler à une vitesse moins élevée ; donc ces derniers seraient plus aptes à réagir à temps pour éviter la collision avec un cycliste (Allen-Munley *et al.*, 2004).

17 Les travaux s'intéressant au lien entre l'intensité du trafic et les collisions impliquant des cyclistes apportent des conclusions contradictoires. D'un côté, un trafic automobile élevé augmente la fréquence et la gravité des collisions (Schepers *et al.*, 2011). À l'opposé, Klop et Khattak (1999) affirment qu'un débit élevé réduit la gravité d'une collision entre un cycliste et un véhicule motorisé en raison de la réduction de la vitesse des véhicules qui

s'ensuit (congestion, ajustement du comportement, vigilance). Ces auteurs mentionnent aussi que les cyclistes seraient sans doute plus prudents lorsque le nombre de véhicules pouvant les heurter est élevé. Innamaa *et al.* (2014) ont démontré que la probabilité de collision pour tous les usagers de la route augmente avec le débit pour ensuite diminuer en cas de congestion (Figure 2). Cela peut expliquer les résultats contradictoires discutés ci-dessus.

Figure 2 : La probabilité de collision (tous types d'usagers) en fonction du débit véhiculaire

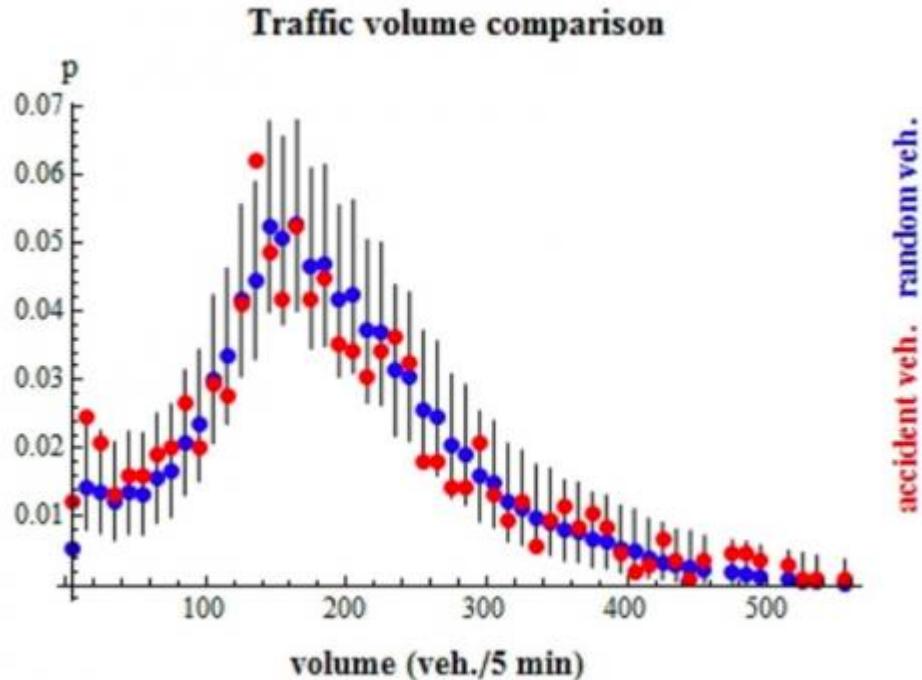


Figure 11. Test of the impact of traffic volumes on road accidents.

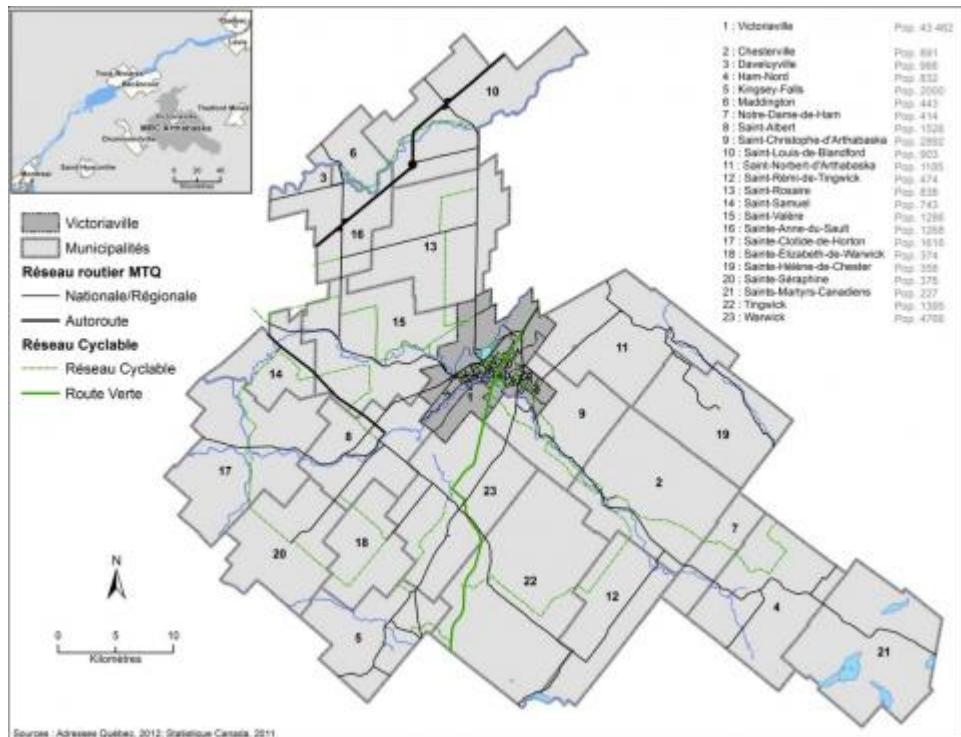
Source : Innamaa *et al.*, 2014

Données et méthodes

Terrain d'étude

Le territoire d'étude couvre la Municipalité régionale de comté (MRC) d'Arthabaska, située dans la région du Centre-du-Québec à environ 150 km à l'ouest de Montréal et la même distance à l'est de Québec. Cette MRC inclut 23 municipalités avec une population totale d'un peu plus de 70 000 habitants, dont 40 000 à Victoriaville, pôle régional d'emplois et de destinations (Figure 3). Le reste du territoire de la MRC est très diversifié, il inclut des petites villes (Warwick, Kingsey Falls) et des villages et des exploitations agricoles. La Route Verte (une infrastructure cyclable nationale) est un élément important qui traverse la MRC en passant par le centre-ville de Victoriaville. Ce terrain d'étude nous apparaît intéressant en raison de sa diversité de forme urbaine, ainsi que de son réseau routier étendu, malgré la faible population.

Figure 3 : Terrain d'étude



Données

19 La base de données utilisée dans le cadre de cette étude provient d'un projet-pilote de diagnostic de sécurité routière du réseau municipal québécois (Saunier *et al.*, 2014). Les couches d'information spatiales retenues ont été intégrées par l'équipe de recherche à partir de différentes sources de données. Le Tableau 1 présente ces sources et les couches d'information spatiale qui en découlent. Il est important de mentionner que l'unité d'analyse qui sera privilégiée ici est celle du « tronçon » de route, une entité linéaire de longueur variable provenant du réseau routier et représentant la route entre deux noeuds/intersections. Des attributs peuvent ainsi leur être ajouté selon leurs caractéristiques (type rue, nombre voie) et la proximité spatiale (nombre de collisions).

Tableau 1 : Liste des données intégrées dans la base de données spatiale du projet-pilote

Données d'origine	Type d'entité spatiale	Source	Attributs utilisés
Hiérarchie du réseau routier	Lignes	MTQ	<p><i>Tronçons</i> : nombre de voies, limite de vitesse</p> <p><i>Type de route</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locale urbaine : Route avec une limite de vitesse inférieure ou égale à 50 km/h, dont la fonction principale est de desservir les zones résidentielles et de donner accès aux propriétés. • Artère urbaine : Les artères sont des voies permettant la circulation de transit sur une longue distance ou la desserte de propriétés adjacentes. Elles comprennent des routes dont la chaussée comporte souvent quatre voies, les carrefours sont souvent gérés par des feux de circulation. • Locale rurale : Route avec une limite de vitesse supérieure à 50 km/h, dont la fonction principale est de desservir les zones résidentielles et de donner accès aux propriétés. En principe, les routes locales

			<p>sont reliées aux routes collectrices ou aux artères. Les carrefours sont gérés par des arrêts.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Collectrice municipale : Route qui relie les centres ruraux (les petites agglomérations de moins de 5 000 habitants), ainsi que des concentrations de population et le centre rural le plus proche. Elles servent habituellement à la circulation de transit, à la desserte des propriétés adjacentes ou à l'accès à des équipements locaux importants. • Autoroutes • Routes nationale et régionale numérotées (réseau MTQ)
Trafic	Lignes	<i>Données collectées sur le terrain</i>	Débit journalier moyen annuel (DJMA) estimé
Collisions (2007-2011)	Points	MTQ	<i>Caractéristiques des collisions</i> : gravité, type d'impact, intersection (oui/non), coordonnées x/y
			<i>Caractéristiques du véhicule</i> : type de véhicule, incluant les piétons et les cyclistes
			<i>Caractéristiques des victimes</i> : âge
Environnement routier	Lignes	<i>Données collectées sur le terrain</i>	<i>Tronçons</i> : pente, courbe, éclairage (jour/nuit)
Occupation du sol	Polygones	MRC	<i>Type d'occupation du sol</i> : résidentiel, affaires, commercial, rural
Recensement de la population de 2006	Polygones	Statistiques Canada	Population totale (par municipalité)
Autres infrastructures routières	Lignes	MRC	<i>Infrastructures cyclables*</i> : piste cyclable, bande cyclable, voies partagées, traverse de rue

* Bien que nous eussions accès aux différents types d'infrastructures cyclables, nous les avons tous regroupés, car le nombre de collisions sur piste cyclable est faible (35 collisions sur un total de 137 sur ce réseau).

adapté de (Rondier *et al.*, 2015)

20 À des fins de simplification des modèles, la hiérarchisation du réseau routier a été simplifiée en trois classes. Le réseau local urbain et les artères urbaines forment chacun une classe. Considérant le faible nombre de collisions sur les routes rurales, le réseau rural constitue la troisième classe et comprend le regroupement des routes suivantes : locale rurale, collectrice municipale, autoroute, routes nationale et régionale numérotées.

21 Un des défis liés à un territoire d'étude aussi vaste réside dans le fait d'être capable d'estimer la circulation sur tout le réseau routier en incluant les routes municipales. Dans le cas présent, des rapports de comptage sont disponibles pour la majorité des tronçons du réseau supérieur (MTQ), mais très peu sur le réseau municipal. Pour ce faire, l'équipe de recherche du projet-pilote a catégorisé les différents segments de route en six sous-groupes (voir Tableau 1), reposant sur quatre critères :

- La classification fonctionnelle de routes et autoroutes assignée par le MTQ permet de sélectionner tous les tronçons du réseau local.

- La classification cartographique permet de discerner les tronçons du réseau routier municipal.
- La limite de vitesse affichée du tronçon permet de discerner les routes locales du réseau routier municipal.
- La densité de la population par km² de l'aire de diffusion que traverse le tronçon permet de discerner les routes locales dont la vitesse est inférieure ou égale à 50 km/h sur le réseau routier municipal.

22 Ensuite, l'équipe a fait des comptages pour un échantillon aléatoire dans chacun des groupes et a par la suite estimé des DJMA pour chaque sous-groupe, en faisant l'hypothèse que les tronçons d'un même sous-groupe sont homogènes. Ce sont ces estimations qui ont été utilisées ici.

23 Il est à noter que, pour la base de données des collisions, il existe cinq sous-catégories de gravité de blessures : matériel mineur, matériel majeur, collision avec blessures légères, collision avec blessures graves et collision mortelle (Tableau 2). Toutefois, notre échantillon de collisions graves et mortelles étant peu élevé (seulement trois collisions graves et quatre collisions mortelles sur un total de 137), un regroupement de certains niveaux de gravité a été nécessaire. C'est ainsi que les collisions avec dommage « matériel mineur » et « matériel majeur » ont été regroupées, ainsi que celles avec un ou des blessés « légers », « graves » et « mortels ».

Tableau 2 : La gravité d'une collision impliquant un véhicule motorisé définie par la Société d'assurance automobile du Québec (2009)

Type de gravité	Description
Matériel mineur	L'évaluation sommaire de tous les dommages matériels causés lors de la collision est de 2 000 \$ CAD ou moins. Cette évaluation est basée sur l'opinion de l'agent de la paix.
Matériel majeur	L'évaluation sommaire de tous les dommages matériels causés lors de la collision est plus de 2 000 \$ CAD. Cette évaluation est basée sur l'opinion de l'agent de la paix.
Collision avec blessures légères	La collision implique des victimes avec des blessures légères. Une blessure légère ne nécessite pas une hospitalisation.
Collision avec blessures graves	La collision implique des victimes avec des blessures graves. Une blessure grave nécessite une hospitalisation.
Collision mortelle	La collision implique des victimes qui sont décédées.

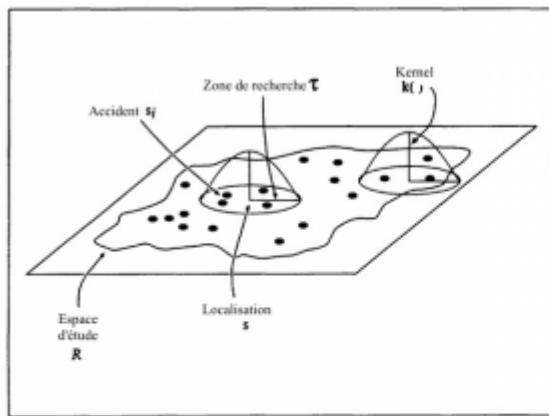
Analyses

24 Quatre méthodes seront utilisées pour analyser les données, en ayant recours aux systèmes d'informations géographiques et à l'analyse spatiale et statistique : l'estimation par noyau (*Kernel Density Estimation*), les statistiques de balayage de Kulldorff, la régression de Poisson et la régression logistique. Les deux premières vont permettre de déterminer les regroupements spatiaux de collisions dans la MRC tandis que les deux dernières vont permettre d'identifier les variables environnementales influençant l'occurrence des collisions et la gravité des blessures.

Détection de points chauds

25 L'identification des agrégats spatiaux consiste à montrer les concentrations d'un semis de points (dans ce cas-ci, des collisions) dans un espace donné (Anderson, 2009). La méthode d'estimation par noyau (KDE : Kernel Density Estimation dans ArcGIS) se fait à partir d'une maille régulière et d'une fonction gaussienne standard. Pour la réaliser, il s'agit tout d'abord de juxtaposer une grille de cellules sur l'espace d'étude (ici : avec des pixels de 2,5 mètres de côté). Ensuite, une zone de recherche de 250 mètres de rayon (considérant que les collisions sont surtout localisées dans la municipalité de Victoriaville et que sa taille tout de même peu élevée) a été juxtaposée pour pouvoir y calculer le nombre de points présents, et ce, pour chaque cellule (Figure 4)¹.

Figure 4 : Diagramme expliquant le KDE



Source : Adapté de (Gatrell *et al.*, 1996)

26 La densité est estimée pour chacun des pixels à l'aide de la fonction noyau (équation 1) qui accorde une pondération à chacun des points compris dans la zone de recherche en fonction de la distance au centre du pixel². Le poids d'un point est donc plus important dans l'estimation de la densité s'il est proche du centre du pixel. Une fois la matrice calculée, la valeur de (f) peut alors être cartographiée à l'échelle des pixels, pour quadriller complètement le territoire d'étude et ainsi présenter une carte de densité qui nous informe sur la concentration spatiale des collisions.

Équation 1

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)$$

$f(x, y)$ = estimation de la densité pour le point j localisé en (x, y)

h = rayon d'influence (de la zone de recherche)

d_{ij} = distance séparant les points i et j

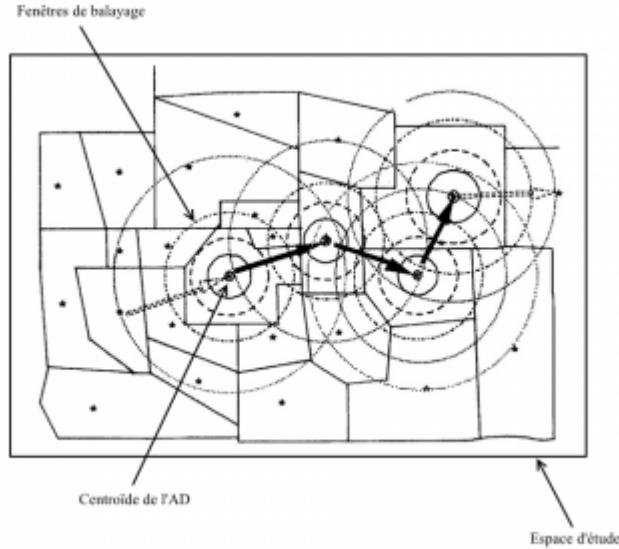
K = fonction noyau

Source : Adapté de (Fotheringham et Rogerson, 2009)

27 La méthode de balayage de Kulldorff mise en œuvre dans le logiciel SaTScan sert à identifier le ou les agrégats spatiaux où les taux d'incidence d'un phénomène sont significativement plus forts (zones chaudes) ou plus faibles (zones froides) par rapport à une population à risque (Dai, 2012). Pour localiser les agrégats (dans ce cas-ci, les agrégats sont représentés par les aires de diffusion), des fenêtres de balayage (circulaires) variant de taille selon la population sous-jacente sont passées au-dessus de chaque centroïde

d'une zone prédéfinie (Figure 5). Les centroïdes des aires de diffusion (AD) ont été choisis comme point d'ancrage spatial pour le balayage tandis que le rayon de la fenêtre de balayage a été testé avec un maximum de 1 %, 2 % et 8 % de la population à risque comprise dans ladite fenêtre. Dans le cas présent, la population à risque devrait représenter les cyclistes qui circulent dans le réseau routier. Cependant, comme nous n'avons pas de données fiables sur cette population, nous proposons ici de prendre le trafic automobile (DJMA) comme proxy de la « population à risque » puisqu'il a été démontré que le risque de façon générale augmente avec le trafic (voir Figure 2).

Figure 5 : Les fenêtres de balayage du Kulldorff



Source : Adapté de (Hjalmars *et al.*, 1996)

Il s'agit donc ici de vérifier l'hypothèse stipulant que le taux d'incidence des collisions impliquant un cycliste par rapport au trafic, pour chacune des fenêtres de balayage (AD), est significativement plus élevé dans la fenêtre en comparaison au reste du territoire. Kulldorff se sert d'une fonction de vraisemblance (équation 2) qui compare les fréquences observées et attendues sous la loi de Poisson pour déterminer la significativité des agrégats spatiaux trouvés lors du balayage (Saman *et al.*, 2012). En complémentarité à la carte de la densité provenant des estimateurs par noyau, la cartographie des AD ayant un taux d'incidence significativement plus élevé que le reste du territoire nous renseigne sur la localisation de points chauds.

Équation 2

$$LR = \left(\frac{c}{E[c]} \right)^c \left(\frac{C-c}{C-E[c]} \right)^{D-d}$$

C = nombre total de cas observés dans l'ensemble du territoire

c = nombre de collisions observées dans la fenêtre de balayage

$E[c]$ = nombre de cas attendus dans la fenêtre

Source : Adapté de (Kulldorff, 2007)

Modèles prédictifs des collisions et de la gravité

Une fois l'analyse spatiale des agrégats de collision effectuée, deux modèles prédictifs sont calculés. Une base de données distincte a été utilisée pour chacun des modèles. Un premier modèle statistique détermine quels éléments de l'environnement routier influencent le plus la probabilité qu'il y ait une collision ou non sur les tronçons du réseau

routier de la MRC. Plus précisément, un modèle de Poisson avec une surreprésentation de la valeur 0 (*zero-inflated*) (équation 3) sera appliqué en raison du grand nombre de tronçons n'ayant pas de collisions et des petits effectifs associés aux données de collisions (Chen *et al.*, 2012 ; Dumbaugh, E et Li, 2011 ; Dumbaugh, Eric *et al.*, 2013 ; Kim, Myungseob *et al.*, 2012). Cette première analyse statistique utilise une base de données où l'unité d'analyse est le tronçon, pour lequel le nombre de collisions a été calculé pour chaque tronçon. La fréquence de collision sera utilisée dans ce modèle pour l'analyse, en divisant le nombre de collisions par la longueur du tronçon, car les tronçons sur le réseau routier n'ont pas tous la même longueur, ce qui pourrait engendrer un biais. Au préalable, des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées, pour plusieurs variables explicatives disponibles dans la base de données, l'objectif étant de choisir celles qui seraient intégrées dans le modèle.

Équation 3

$$\log(\pi_i) = A + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} = A + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij}$$

A = constante

π_i = probabilité estimée que le phénomène ait lieu en i

β_j = coefficient de régression pour la variable indépendante j

p = nombre de variables indépendantes

Source : Adapté de (Miranda-Moreno et Fernandes, 2011)

30 Un deuxième modèle statistique détermine quels éléments de l'environnement routier influencent le plus la probabilité qu'il y ait un blessé cycliste ou non lors de la collision. Une régression logistique (équation 4) est la méthode la plus appropriée pour ce deuxième modèle, car, contrairement aux données sur la fréquence de collisions, les données sur la gravité des collisions sont dichotomiques (Carson et Mannering, 2001). Cette deuxième analyse statistique utilise une base de données où les lieux des collisions (points) sont l'unité d'analyse, à laquelle les caractéristiques de l'environnement routier au lieu de la collision ont été attribuées. Le modèle analyse donc la localisation résultante d'une collision entre un véhicule motorisé et un cycliste selon qu'il y a eu un blessé (léger, grave, mortel : valeur de 1) ou aucun blessé (matériel mineur et majeur : valeur de 0). Comme dans le modèle précédent, des tests de Khi2 ont été réalisés pour plusieurs variables explicatives disponibles dans la base de données, l'objectif étant de choisir celles qui seraient intégrées dans le modèle.

Équation 4

$$\ln\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = A + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} = A + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij}$$

A = constante

π_i = probabilité estimée que le phénomène ait lieu en i

β_j = coefficient de régression pour la variable indépendante j

p = nombre de variables indépendantes

Source : Adapté de (Tabachnick et Fidell, 2007)

Résultats

Analyse descriptive des collisions

31 Au cours de la période étudiée (2007-2011), il y a eu un total de 137 collisions impliquant un cycliste et un véhicule motorisé sur le territoire de la MRC d'Arthabaska (Tableau 3). Notre analyse descriptive des collisions montre que les jeunes cyclistes (15 ans et moins) sont les plus nombreux à être impliqués dans ce type de collision et que la majorité des collisions sont de type latéral. Pour ce qui est de la répartition spatiale des collisions, la plupart d'entre elles ont lieu en milieu urbain (87 % à Victoriaville) et aux intersections où il n'y a pas d'infrastructure cyclable. Finalement, la majorité des collisions ont lieu le jour, particulièrement sur les rues locales à seulement deux voies.

32 Le Tableau 3 présente les tests d'ANOVA (nombre de collisions), les tests de Khi-2 (collisions sans blessé et avec blessé) et les variables retenues. On peut y voir que les 5 variables testées (localisation à Victoriaville, présence d'une intersection, type de route, nombre de voies, présence d'infrastructure cyclable) pour le premier modèle ont toutes des moyennes de sous-groupe significativement différentes (ANOVA) (en gras dans le Tableau 3 : Modèle 1). Pour le deuxième modèle, aucune variable n'est significative au seuil de 0,05 lorsque des tests de Khi2 sont effectués sur les 13 variables (âge du cycliste, limite de vitesse, éclairage, type de véhicule impliqué, localisation à Victoriaville, présence d'une intersection, présence d'une pente, présence d'une courbe, type de route, nombre de voies, présence d'infrastructure cyclable, type d'occupation du sol, type de collision). Les variables significatives près du seuil de 0,4 ont tout de même été intégrées dans le modèle (8 variables) (en gras dans le Tableau 3 : Modèle 2). Finalement, pour la variable DJMA, la corrélation entre celle-ci et le nombre de collisions par tronçon est faible ($r=0,09$; $p<0,0001$), bien que significative pour le premier modèle, mais le test de comparaison des moyennes ne l'est pas ($F= 1,06$; $p=0,854$: Modèle 2). Ce résultat vient renforcer le besoin de modèles pour les milieux périurbains puisqu'il ne suit pas les tendances habituelles, où la corrélation entre le débit de trafic de véhicules et le nombre de collisions est généralement assez importante et significative.

Tableau 3 : Statistiques descriptives des collisions et tests d'ANOVA et de Khi-2

Variables	Modèle 1			Modèle 2					
	n	%	ANOVA F (p)	Collision sans blessé		Collision avec blessé		Khi-2 (p)	
Total de collisions	137	100	-	43	31,39	94	68,61	-	
Groupe d'âge	-	-	-	-	-	-	-	-	
15 ans et moins	14	10,22	n. s.	1	0,73	13	9,49	5,01 (0,171)	
16-34 ans	50	36,50	n. s.	17	12,41	33	24,09		
35-64 ans	54	39,42	n. s.	20	14,60	34	24,82		
65 ans et plus	19	13,87	n. s.	5	3,65	14	10,22		
Éclairage	-	-	-	-	-	-	-		
Jour	117	85,40	n. s.	34	24,82	83	60,58	2,02 (0,156)	
Nuit	20	14,60	n. s.	9	6,57	11	8,03		
Type d'impact	-	-	-	-	-	-	-	2,78 (0,096)	
Arrière	3	2,19	n. s.	0	0,00	3	2,19		
Latéral	89	64,96	n. s.	20	14,60	69	50,36		

Frontal	3	2,19	n. s.	1	0,73	2	1,46	
Gauche opposant	7	5,11	n. s.	1	0,73	6	4,38	
Changement de voie	3	2,19	n. s.	0	0,00	3	2,19	
Autre	32	23,36	n. s.	21	15,33	11	8,03	
<i>Localisation</i>	-	-		-	-	-	-	
Victoriaville	119	86,86	34,14 (<0,0001)	36	26,28	83	60,58	0,54 (0,462)
Hors Victoriaville	18	13,14		7	5,11	11	8,03	
<i>Intersection</i>	-	-		-	-	-	-	
Oui	107	78,10	6550,31 (<0,0001)	30	21,90	77	56,20	0,98 (0,322)
Non	30	21,90		13	9,49	17	12,41	
<i>Pente</i>	-	-	-	-	-	-	-	
Oui	6	4,38	n. s.	3	2,19	3	2,19	1,01 (0,315)
Non	131	95,62	n. s.	40	29,20	91	66,42	
<i>Courbe</i>	-	-	-	-	-	-	-	
Oui	6	4,38	n. s.	1	0,73	5	3,65	0,63 (0,427)
Non	131	95,62	n. s.	42	30,66	89	64,96	
<i>Type de route</i>	-	-		-	-	-	-	
Locale urbaine	62	45,26	60,37 (<0,0001)	14	10,22	48	35,04	n. s.
Artère urbaine	48	35,04		20	14,60	28	20,44	n. s.
Réseau rural	27	19,71		9	6,57	18	13,14	n. s.
<i>Nombre de voies</i>	-	-		-	-	-	-	
2	106	77,37	93,84 (<0,0001)	34	24,82	72	52,55	n. s.
4	31	22,63		9	6,57	22	16,06	n. s.
<i>Infrastructure cyclable</i>	-	-		-	-	-	-	
Oui	32	23,36	25,63 (<0,0001)	10	7,30	22	16,06	2,87 (0,090)
Non	105	76,64		33	24,09	72	52,55	

Détection des points chauds de collisions impliquant un cycliste

33 Les deux méthodes (KDE et Kulldorff) montrent pratiquement les mêmes concentrations spatiales pour les collisions entre les cyclistes et les véhicules motorisés. Les endroits avec les plus grandes concentrations sont tous localisés dans la municipalité de Victoriaville et les plus importants sont à proximité du centre-ville et de la Route Verte

(Figure 6). La méthode de Kulldorff a détecté quatre AD où le risque relatif d'y retrouver une collision impliquant un cycliste est de 7 à 52 fois plus élevé qu'ailleurs (Tableau 4). Lorsqu'on superpose la localisation de ces AD (zones hachurées sur les Figures 6, 7 et 8) avec la carte de densité du KDE (zones en rouge), on note la présence plus précise de six agrégats (Figures 6, 7 et 8).

Tableau 4 : Détection des agrégats spatiaux des collisions selon Kulldorff

Numéro de l'agrégat	1	2	3	4
Aire de diffusion (AD)	24390103	24390104	24390115	24390159
Cas observés	21	13	5	5
Cas attendus	0,48	2,01	0,48	0,48
Risque relatif (selon le débit véhiculaire)	51,72	7,03	10,82	10,82
Valeur de P	0,001	0,001	0,017	0,017

34 Le point chaud de collisions le plus important est caractérisé par le passage d'une infrastructure cyclable importante (agrégat 1 sur la Figure 6). Cette intersection problématique se retrouve entre la Route Verte et une artère urbaine au trafic élevé. Ce passage est caractérisé par des panneaux en amont, un marquage au sol et un feu jaune clignotant (flèches rouges, Illustration 1). De plus, un terre-plein est présent pour inciter les véhicules à réduire leur vitesse et pour créer une zone de protection pour les cyclistes traversant les voies. Il existe aussi une intersection problématique à environ 50 mètres au sud-est de ce passage, qui est caractérisé par la présence de cette même artère importante et de feux de circulation. Cette artère urbaine semble donc aussi dangereuse en dehors du passage de la Route Verte.

35 Il existe un deuxième point chaud important (agrégat 2 sur la Figure 6), également à proximité de la Route Verte, mais plus localisé dans le centre-ville de Victoriaville. Ce secteur est caractérisé par une chaussée étroite, un stationnement sur rue (flèche rouge, Illustration 2) avec des commerces de proximité et un débit assez élevé de véhicules, notamment aux heures de pointe. Une traverse piétonne avec des panneaux en amont, un marquage au sol et un feu jaune clignotant a été aménagée pour assurer le lien entre la Route Verte et le centre-ville, cette dernière étant sans doute utilisée également par un nombre important de cyclistes à des fins utilitaires. La Route Verte traverse également une intersection assez importante au sud de cet agrégat. Cette intersection n'a pas de feu de circulation (seulement des panneaux d'arrêt dans toutes les directions). Un marquage au sol signale également le passage de la piste cyclable.

36 Un dernier point chaud important pour cette partie de la ville est situé au croisement d'une piste cyclable locale (flèche rouge, Illustration 3), de la Route Verte et d'une rue locale (agrégat 3 sur la Figure 6). Comme celui-ci se retrouve dans un lieu important de connexion entre deux réseaux cyclables, on peut supposer un plus grand nombre de cyclistes. De plus, la circulation y est seulement régulée par des panneaux arrêt dans toutes les directions et par un marquage au sol (suivant la Route Verte).

Figure 6 : Densité et agrégats spatiaux (1, 2, 3) des collisions

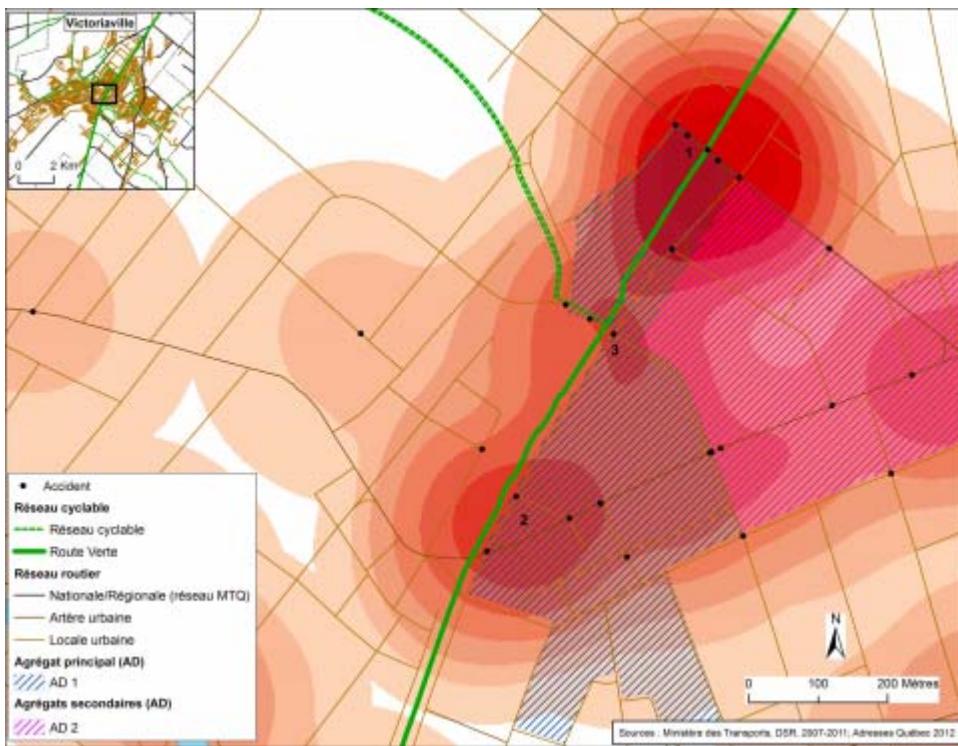


Illustration 1 : Agrégat 1



Source : Google Street View (2012)

Illustration 2 : Agrégat 2



Illustration 3 : Agrégat 3



Source : Google Street View (2012)

³⁷ À l'est de la zone précédente, on retrouve le 4e agrégat à l'intersection très achalandée de deux artères urbaines (agrégat 4 sur la Figure 7). Cette intersection, localisée dans une zone plutôt commerciale, a des feux de circulation et plus de deux voies dans chaque direction (Illustration 4). Ce point chaud contient également quelques intersections avec des panneaux arrêt dans toutes les directions qui sont problématiques à l'est, à l'intérieur d'une zone plus résidentielle avec des rues locales peu achalandées, où la limite de vitesse est faible (50 km/h). Contrairement aux agrégats précédents, cette dernière zone ne compte pas d'infrastructure cyclable, mais elle peut inclure éventuellement de la circulation de transit lorsqu'il y a congestion sur les artères avoisinantes.

³⁸ De moindre importance, un point chaud est situé le long d'une artère urbaine de nature commerciale à plus de 4 voies où la circulation est importante (agrégat 5 sur la Figure 7). Cette artère urbaine est caractérisée par plusieurs intersections avec des feux de circulation, dont une intersection qui croise une route du réseau MTQ (Illustration 5). Une bande cyclable est présente sur une rue en parallèle (au nord) et une autre sur une rue transversale, ce qui peut signifier un débit de cyclistes plus élevé dans le secteur.

Figure 7 : Densité et agrégats spatiaux (4, 5) des collisions

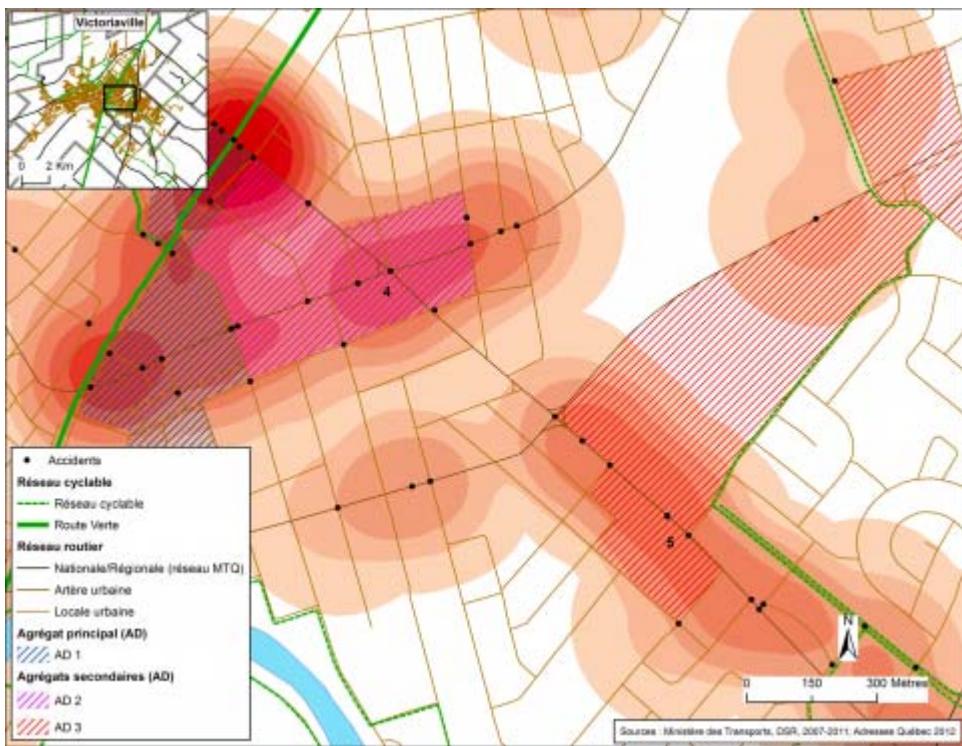


Illustration 4 : Agrégat 4



Source : Google Street View (2012)

Illustration 5 : Agrégat 5



39 Le dernier agrégat est localisé dans un secteur très résidentiel dans la partie ouest de la municipalité de Victoriaville (agrégat 6 sur la Figure 8). Ce secteur est caractérisé par des rues locales urbaines à deux voies peu achalandées avec beaucoup de courbes, où la limite de vitesse affichée est faible (50 km/h). La plupart des collisions ont lieu à des intersections ayant trois approches avec seulement un panneau d'arrêt (Illustration 6). Environ la moitié des collisions dans ce secteur ont impliqué un enfant de 15 ans ou moins, ce qui peut expliquer la localisation de cet agrégat dans un quartier résidentiel.

Figure 8 : Densité et agrégats spatiaux (6) des collisions

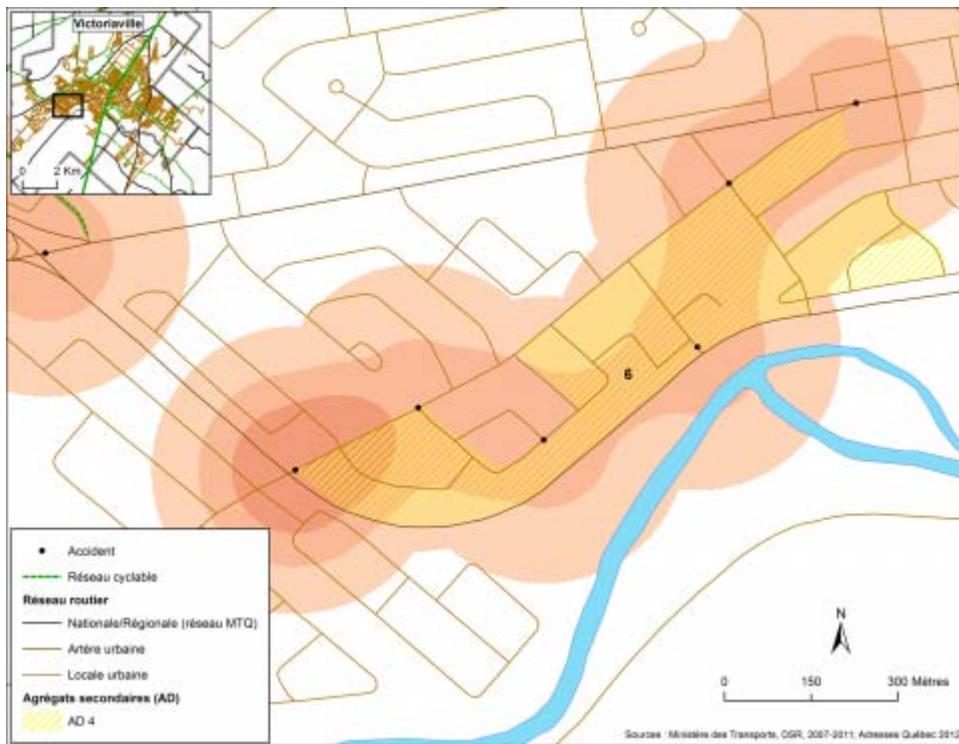


Illustration 6 : Agrégat 6



Modèle prédictif des collisions

40 Le modèle de régression de Poisson nous démontre l'influence de cinq variables sur la probabilité de collision entre un cycliste et un véhicule motorisé pour les tronçons du

territoire à l'étude (Tableau 5). La variable la plus importante est la présence d'une intersection, où la probabilité est plus élevée par rapport aux collisions en dehors des intersections (coefficients à 0,611 ; $p<0,001$). La présence d'infrastructure pour les cyclistes augmente également les chances de collision (coefficients à 0,421 ; $p<0,001$). De plus, la probabilité de collision dans le milieu urbain le plus dense de la MRC (Victoriaville) est plus élevé qu'en milieu plus rural (le reste de la MRC) (coefficients à 0,711 ; $p=0,003$). Ensuite, les artères urbaines sont significativement plus à risque que les rues locales urbaines (coefficients à 0,920 ; $p=0,005$). Finalement, bien que les DJMA soient significatifs ($p=0,029$), ils n'influencent pas le risque de collision (coefficients très proches de 0).

Tableau 5 : Résultats de la régression de Poisson sur le nombre total de collisions par tronçon (y)

Variables	Coef.	Erreur -type	Wald	P	IC 95 %
Localisation de la collision à une intersection*	0,611	0,081	57,46	<0,0001	0,4533 0,7695
Présence d'infrastructure cyclable	0,421	0,067	39,26	<0,0001	0,2894 0,5529
Collision dans la municipalité de Victoriaville	0,711	0,243	8,58	0,003	0,2352 1,1866
Type de route (artère urbaine) - Réf. Locale urbaine	0,920	0,325	8,02	0,005	0,2833 1,5565
DJMA (Débit Journalier Moyen Annuel)	0,0001	0,0000	1	0,029	-0,0002 -0,0000
Type de route (réseau rural) - Réf. Locale urbaine	0,062	0,231	0,07	0,789	-0,0391 0,5143
Nombre de voies (4 voies et plus) – Réf. Moins de 4 voies	-0,017	0,073	0,05	0,818	-0,1601 0,1264

* Chaque collision localisée à une intersection et à 20 mètres et moins d'une intersection a été attribuée à un tronçon.

Modèle prédictif des collisions avec blessures

41

Aucune des variables du modèle de régression logistique n'est significative au seuil de 0,05, bien que deux d'entre elles s'en rapprochent (Tableau 6). Contrairement au modèle précédent, la présence d'infrastructures cyclables réduit les chances d'une collision impliquant des blessures de 54,3 % ($p=0,073$). Par ailleurs, les jeunes cyclistes (15 ans ou moins) ont une probabilité de blessure 5,4 fois plus élevée par rapport aux cyclistes âgés de 34 à 64 ans ($p=0,075$). Enfin, la probabilité de blessure est 59,5 % moins élevée la nuit comparativement au jour ($p=0,095$).

Tableau 6 : Résultat de la régression logistique sur le fait d'avoir une collision cycliste avec blessé (y=1) ou non

Variables	Coef.	Erreur type	Wald	P	RC	IC 95 %
Présence d'infrastructure cyclable	-0,782	0,437	3,209	0,073	0,457	0,194- 1,076
Âge du cycliste (15 ans et moins) - Réf.	1,689	0,947	3,1778	0,075	5,413	0,845-

35-64 ans						34,655
Éclairage (nuit) – Réf. Jour	-0,904	0,542	2,784	0,095	0,405	0,140-1,171
Collision latérale	0,519	0,392	1,748	0,186	1,681	0,778-3,631
Présence d'une courbe	1,301	1,134	1,316	0,251	3,674	0,398-33,945
Localisation de la collision à une intersection	0,379	0,426	0,793	0,373	1,461	0,634-3,367
Présence d'une pente	-0,758	0,904	0,703	0,402	0,469	0,080-2,756
Âge du cycliste (16-34 ans) - Réf. 35-64 ans	0,319	0,435	0,538	0,463	1,375	0,587-3,223
Collision dans la municipalité de Victoriaville	0,345	0,577	0,358	0,550	1,412	0,456-4,374
Âge du cycliste (65 ans et plus) - Réf. 35-64 ans	0,215	0,612	0,124	0,725	1,240	0,374-4,118

Discussion

42 Bien que le territoire à l'étude soit un milieu peu dense, il existe certaines similitudes et différences entre nos résultats et ceux de la littérature existante pour les facteurs de risque expliquant les collisions et les blessures entre un cycliste et un véhicule motorisé. Considérant que la majorité des études sont réalisées en milieu urbain très dense, la comparaison est intéressante.

Des ressemblances entre les agrégats spatiaux et le modèle prédictif des collisions

43 Les analyses descriptives des agrégats spatiaux permettent de faire une comparaison avec les modèles statistiques. Lorsque nous les comparons, nous constatons que la plupart des variables décrivant les points chauds qualitativement sont les mêmes que celles qui influencent les chances de collision selon le premier modèle. Une telle similitude ne peut être établie avec le deuxième modèle sur la gravité des blessures lors de collision. La présence d'une intersection, les artères urbaines et le milieu urbain plus dense (centre-ville de Victoriaville) figurent tous comme étant des variables environnementales décrivant les points chauds et expliquant le plus grand nombre de collisions. La présence d'infrastructures cyclables constitue également une variable qui caractérise les agrégats spatiaux et l'augmentation de la probabilité de collision. Cependant, le risque de blessure lors d'une collision est réduit lorsqu'il y a la présence de telles infrastructures selon le deuxième modèle.

Des facteurs de risque semblables aux milieux urbains : intersection, artère urbaine et âge des victimes

44 Tout d'abord, les résultats obtenus ici confirment que les intersections représentent un facteur de risque très important, ce qui concorde avec la majorité des études précédentes. Le nombre élevé d'interactions et de conflits de trafic potentiels entre les véhicules et les cyclistes aux intersections explique pourquoi une grande proportion des collisions a lieu en ces lieux. Par ailleurs, l'effet de la présence d'une intersection sur la gravité des blessures n'est pas significatif selon notre deuxième modèle. Cela vient s'ajouter aux études précédentes qui ont obtenu des résultats contradictoires (Eluru *et al.*, 2008 ; Klassen *et al.*, 2014 ; Zahabi *et al.*, 2011).

45 Nos résultats montrent aussi que les chances de collision sont plus élevées sur les rues locales et artères urbaines par rapport à celles du réseau supérieur, ici sous la juridiction du MTQ. Ceci peut être expliqué par le nombre peu élevé de collisions (seulement 27 sur un total de 137) et par des infrastructures cyclables sur le réseau rural, ce qui suppose aussi un faible nombre de cyclistes sur ce type de route. Pour le réseau municipal, les artères urbaines sont plus problématiques que les rues locales urbaines, ce qui rappelle les travaux semblables sur le sujet. Selon Dumbaugh et Li (2011) et Dumbaugh *et al.* (2013), les grandes routes contribuent de façon plus importante au risque de collisions impliquant un cycliste en raison du débit et de la vitesse élevée des véhicules qui y circulent, en plus de la présence de multiples intersections qui sont autant de zones d'interactions entre les usagers de la route. La configuration du réseau routier en milieu moins dense n'échappe pas à cette réalité.

46 Finalement, nos résultats montrent que l'âge influence la probabilité d'être blessé lorsqu'il y a une collision entre un véhicule et un cycliste. Les jeunes cyclistes (15 ans ou moins) ont plus de risques d'être blessés que les adultes (35-64 ans). Seuls Kaplan *et al.* (2014) affirment aussi que la gravité des blessures est plus élevée pour les jeunes cyclistes. À l'inverse, la plupart des études expliquent que le risque de blessures est plus élevé chez les personnes âgées que chez les enfants, ces dernières étant physiquement plus fragiles (Boufous *et al.*, 2012 ; Kaplan *et al.*, 2014 ; Kim *et al.*, 2007 ; Yan *et al.*, 2011).

Des facteurs de risque propres aux régions à plus faible densité de population : milieu rural, infrastructures cyclables et éclairage

47 Les résultats de la présente étude montrent que la probabilité d'une collision sur un tronçon en milieu urbain « régional » (municipalité de Victoriaville) est plus élevée qu'en milieu rural. Cela ne concorde pas avec certains travaux qui montrent que les zones rurales sont plus propices aux collisions. Boufous *et al.* (2012) et Kaplan et Prato (2013) en concluent que cela est dû au fait que les vitesses pratiquées sont plus élevées en milieu rural, en plus de l'absence d'infrastructures cyclables appropriées. Dans le cas présent, la ville régionale de Victoriaville regroupe à la fois un trafic plus dense qu'ailleurs dans la région et une présence de cyclistes plus importante, tout cela dans un réseau routier dont la configuration permet peu la cohabitation des usagers. Cette combinaison explique au moins partiellement nos résultats ici concernant le milieu urbain.

48 La présence d'infrastructures cyclables augmente la probabilité de collision, ce qui est en désaccord avec la majorité de la littérature existante. De nombreux auteurs expliquent que la mise en place de telles infrastructures engendre une réduction de la vitesse des automobilistes, augmente l'espace dédié aux cyclistes sur la chaussée et réduit le risque de collisions mortelles. Néanmoins, Johnson (2013) constate que la présence d'infrastructures pour les cyclistes augmente les collisions, notamment en raison du nombre plus élevé de cyclistes que l'on y retrouve : c'est alors une question d'exposition. Il y a deux mécanismes de cet ordre à l'œuvre dans le cas présent : les infrastructures cyclables ont un effet attractif sur les cyclistes — ils y sont donc en plus grands nombres qu'ailleurs —, et la présence de la Route Verte sert aussi de catalyseur de la présence

cycliste. D'ailleurs, l'analyse des agrégats illustre bien que les endroits où la Route Verte croise le réseau routier sont problématiques. Par rapport au fait d'être blessé ou non lors de la collision, les résultats obtenus témoignent d'un certain effet protecteur des infrastructures cyclables (probabilité moindre quand elles existent), effet aussi démontré ailleurs. Par exemple, la mise en place d'infrastructures cyclables contribue à réduire considérablement les collisions où un véhicule heurte un cycliste par l'arrière, ce type de collision étant la plus mortelle (Thomas et Derobertis, 2013).

49 Pour ce qui est de l'éclairage, nos résultats diffèrent des travaux connus à ce jour puisque la nuit est un facteur de risque qui réduit la probabilité d'avoir un blessé. Kaplan *et al.* (2014) arrivent aux mêmes résultats que nous : l'hypothèse sous-jacente est que la nuit cause une réduction de la visibilité ; donc les manœuvres d'évitement sont plus difficiles entre les véhicules et les cyclistes. Nos résultats s'expliquent certainement par la faible présence de cyclistes et de collisions la nuit (seulement 20 collisions sur un total de 137 ont eu lieu la nuit), en particulier en milieu rural où c'est plutôt un cyclisme de loisirs (donc plutôt de jour) qui y est pratiqué.

Conclusion

50 Comme toute étude empirique, la nôtre contient des limites méthodologiques. D'abord, bien que cibler les points chauds soit profitable pour l'intervention sur des sites spécifiques, par exemple l'identification d'une intersection problématique, il demeure que la magnitude du problème à une plus grande échelle n'est pas prise en compte par cette méthode, notamment dans le périmètre de Victoriaville (Morency et Cloutier, 2006). En effet, ce type de méthode d'agrégats spatiaux permet de détecter et d'insister sur une faible proportion des collisions : une réduction substantielle du nombre total de collisions est invraisemblable si l'on agit uniquement sur ces sites. Par ailleurs, les problèmes de sécurité routière ne sont pas toujours liés à des sites spécifiques, mais ils peuvent aussi être de nature plus « universelle ». Par exemple, il existe 130 sites de collisions dans la base de données utilisée, alors qu'il y en a seulement 37 qui sont localisés à l'intérieur des zones de points chauds les plus importantes. Cette limite est par ailleurs minimisée en raison des autres méthodes complémentaires utilisées : avoir également recours à des méthodes de modélisation statistique permet d'exploiter toutes les informations disponibles sur un ensemble de données pour ainsi prédire la probabilité de collision et de blessure pour tout le territoire à l'étude (Vandenbulcke *et al.*, 2014).

51 Ensuite, les données de collision impliquant un cycliste au Québec proviennent seulement des rapports de police, ce qui implique la présence d'une voiture dans la collision : un gardien de la paix va remplir un rapport d'accident seulement dans ces cas. Cela explique donc une sous-estimation possible des cas. En effet, la plupart des collisions impliquant un cycliste n'occasionnent pas de blessures graves ou de dommages matériels majeurs de la part des occupants du véhicule lorsqu'il y en a un : et il est connu que les collisions sans blessure et avec blessures légères sont moins répertoriées. Cela est particulièrement vrai chez les cyclistes qui font une chute après le passage d'une voiture. Selon une étude réalisée par Langley *et al.* (2003) en Nouvelle-Zélande, 46 % des collisions entre un cycliste et un véhicule motorisé ne sont pas répertoriés dans les rapports de police. Pour les études futures, les données provenant des hôpitaux ou encore des ambulances et des urgences devraient aussi être utilisées pour une représentation plus complète des différents types de collisions, incluant les chutes de cyclistes qui n'impliquent pas toujours un véhicule et qui ne se retrouvent pas dans les rapports de police, mais qui sont parfois attribuables aux aménagements routiers tout de même.

52 Une autre limite de notre base de données est liée au nombre peu élevé de collisions, ce qui limite la puissance statistique et le nombre de variables qui peuvent être intégrés dans les modèles (Hamann et Peek-Asa, 2013 ; Schepers *et al.*, 2011). De plus, l'utilisation d'un modèle de régression logistique multinomiale ordonnée aurait été pertinente, en

considérant que les niveaux de gravité sont des données catégorielles et ordinaires (du plus léger au plus grave) (Zahabi *et al.*, 2011). Toutefois, un regroupement de certains niveaux de gravité a été nécessaire en raison du faible nombre de collisions, le pourquoi de l'utilisation de modèles logistiques binaires. Il aurait été pertinent d'étudier un plus grand territoire, avec plus d'une MRC par exemple, ce qui aurait augmenté la taille de l'échantillon de collisions.

53 Enfin, cette étude n'inclut pas les données concernant le trafic de cyclistes, car elles ne sont pas disponibles sur tous les tronçons, en raison des contraintes de temps et de budget du projet. L'intégration de ces données d'exposition permettrait de rendre les analyses statistiques plus exhaustives, notamment en permettant une meilleure compréhension du risque relatif de blessure auquel font face les cyclistes (Haileyesus *et al.*, 2007). Cependant, cette première étude sur les milieux peu denses et leur impact sur les collisions et les blessures impliquant un cycliste apporte plusieurs pistes de réflexion pour continuer à améliorer la sécurité routière des cyclistes dans ces milieux.

Bibliographie

Allen-Mulley C., Daniel J., Dhar S., 2014, "Logistic Model for Rating Urban Bicycle Route Safety", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.1978, 107-115.

Amsden M., Huber T., 2006, *Bicycle Crash Analysis for Wisconsin Using a Crash Typing Tool (PBCAT) and Geographic Information System (GIS)*, Madison, WI: Wisconsin Department of Transportation.

Anderson T., 2009, "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots", *Accident Analysis and Prevention*, No.41, 359-364.
DOI : 10.1016/j.aap.2008.12.014

Basset, D. J., Pucher J., Buehler R., Thompson D., Crouter S., 2008, "Walking, Cycling, and Obesity Rates in Europe, North America, and Australia", *Journal of Physical Activity and Health*, No.5, 795-814.

Bil M., Bilova M., Müller I., 2010, "Critical factor in fatal collisions of adult cyclists with automobiles", *Accident Analysis and Prevention*, No.42, 1632-1636.
DOI : 10.1016/j.aap.2010.04.001

Biret C., 2004, *Vers une pratique quotidienne du vélo en ville : Au delà de la piste cyclable, comment favoriser le choix individuel pour le vélo ?*, Paris, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

Boufous S., De Rome L., Senserrick T., Ivers R., 2012, "Risk factors for severe injury in cyclists involved in traffic crashes in Victoria, Australia", *Accident Analysis and Prevention*, No.49, 404-409.

Carson J., Mannering F., 2001, "The effect of ice warning signs on ice-accident frequencies and severities", *Accident Analysis and Prevention*, No.33, 99-109.
DOI : 10.1016/S0001-4575(00)00020-8

Chen L., Chen C., Srinivasan R., McKnight C., Ewing R., Roe M., 2012, "Evaluating the Safety Effects of Bicycle Lanes in New York City", *American Journal of Public Health*, Vol.102, No.6, 1120-1127.

Chong S., Poulos R., Olivier J., Watson W., Grzebieta R., 2010, "Relative injury severity among vulnerable non-motorised road users: Comparative analysis of injury arising from bicycle-motor vehicle and bicycle-pedestrian collisions", *Accident Analysis and Prevention*, No.42, 290-296.

Coulombe M., 2011, *L'état du vélo au Québec en 2010*, Montréal, Vélo Québec.

Dai D., 2012, "Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian-vehicle crashes in a GIS environment", *Journal of Transport Geography*, No.24, 206-214.
DOI : 10.1016/j.jtrangeo.2012.02.005

Dumbaugh E., Li W., 2011, "Designing for the Safety of Pedestrians, Cyclists, and Motorists in Urban Environments", *Journal of the American Planning Association*, Vol.77, No.1, 69-88.
DOI : 10.1080/01944363.2011.536101

Dumbaugh E., Wenhao L., Kenneth J., 2013, "The built environment and the incidence of pedestrian and cyclist crashes", *URBAN DESIGN International*, No.18, 217-228.
DOI : 10.1057/udi.2013.2

Eluru N., Bhat C. R., Hensher D. A., 2008, "A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes ", *Accident Analysis and Prevention*, No.40, 1033-1054.
DOI : 10.1016/j.aap.2007.11.010

Flahaut B., 2004, "Impact of infrastructure and local environment on road unsafety. Logistic modeling with spatial autocorrelation", *Accid Anal Prev*, Vol.36, No.6, No.v, 1055-1066.

Flahaut B. T., Mouchart M., Martin E. S., Thomas I., 2003, "The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.35, No.6, 991-1004.
DOI : 10.1016/S0001-4575(02)00107-0

Fortier D., 2009, *Les aménagements cyclables : un cadre pour l'analyse intégrée des facteurs de sécurité*, Québec, Institut national de santé publique du Québec.

Fotheringham S., Rogerson P., 2009, *The SAGE Handbook of Spatial Analysis*, Thousand Oaks, Californie, SAGE Publications Ltd.
DOI : 10.4135/9780857020130

Gatrell A., Bailey T., Diggle P., Rowlingson B., 1996, "Spatial Point Pattern Analysis and Its Application in Geographical Epidemiology", *Transactions of the Institute of British Geographers*, Vol.21, No.1, 256-274.
DOI : 10.2307/622936

Haileyesus T., Annest J. L., Dellinger A. M., 2007, "Cyclists injured while sharing the road with motor vehicles", *Injury Prevention*, Vol.13, No.3, 12/09/accepted, 202-206.
DOI : 10.1136/ip.2006.014019

Hamann C., Peek-Asa C., 2013, "On-road bicycle facilities and bicycle crashes in Iowa, 2007-2010 », *Analysis and Prevention*, No.56, 103-109.
DOI : 10.1016/j.aap.2012.12.031

Hjalmars U., Kulldorff M., Gustafsson G., Nagarwalla N., 1996, "Childhood leukemia in Sweden: Using GIS and a spatial scan statistic for cluster detection ", *Statistics in medicine*, No.15, 707-715.

Innamaa S., No.rros I., Kuusela P., Rajamäki R., Pilli E., 2014, *Road traffic incident risk assessment: Accident data pilot on Ring I of the Helsinki Metropolitan Area*, Finlande, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.

Jacobsen P., 2003, "Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling ", *Injury Prevention*, No.9, 205-209.
DOI : 10.1136/ip.9.3.205rep

Johnson K., 2013, *Exploration of Bicycle Motorist Collisions in the City of Minneapolis*, Minneapolis, University of Minnesota.

Kaplan S., Prato C. G., 2013, "Cyclist–Motorist Crash Patterns in Denmark: A Latent Class Clustering Approach », *Traffic Injury Prevention*, Vol.14, No.7, 725-733.
DOI : 10.1080/15389588.2012.759654

Kaplan S., Vavatsoulas K., Prato C. G., 2014, "Aggravating and mitigating factors associated with cyclist injury severity in Denmark", *Journal of Safety Research*, No.50, 75-82.
DOI : 10.1016/j.jsr.2014.03.012

Kim J., Kim S., Ulfarsson G., Porrello L., 2007, "Bicyclist injury severities in bicycle–motor vehicle accidents", *Accident Analysis and Prevention*, No.39, 238-251.
DOI : 10.1016/j.aap.2006.07.002

Kim M., Kim E., Oh J., Jun J., 2012, "Critical factors associated with bicycle accidents at 4-legged signalized urban intersections in South Korea", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.16, No.4, 627-632.
DOI : 10.1007/s12205-012-1055-1

Klassen J., El-Basyouny K., Islam M. T., 2014, "Analyzing the severity of bicycle–motor vehicle collision using spatial mixed logit models: A City of Edmonton case study", *Safety Science*, Vol.62, 295-304.

Klop J., Khattak A., 1999, "Factors Influencing Bicycle Crash Severity on Two-Lane, Undivided Roadways in No.rth Carolina", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.1674, 1999/01/01, 78-85.

Kulldorff M., 2007, "A spatial scan statistic », *Communications in Statistics - Theory and Methods*, Vol.26, No.6, 1481-1496.

Langley J. D., Dow N., Stephenson S., Kypri K., 2003, "Missing cyclists », *Injury Prevention*, Vol.9, No.4, December 1, 2003, 376-379.
DOI : 10.1136/ip.9.4.376

Loo B. P., Tsui K. L., 2010, "Bicycle crash casualties in a highly motorized city », *Accid Anal Prev*, Vol.42, No.6, No.v, 1902-1907.

DOI : 10.1016/j.aap.2010.05.011

Lusk A. C., Morency P., Miranda-MoreNo.L. F., Willett W. C., Dennerlein J. T., 2013, "Bicycle guidelines and crash rates on cycle tracks in the United States », *Am J Public Health*, Vol.103, No.7, Jul, 1240-1248.

Meuleners L. B., Lee A. H., Haworth C., 2007, "Road environment, crash type and hospitalisation of bicyclists and motorcyclists presented to emergency departments in Western Australia", *Accid Anal Prev*, Vol.39, No.6, No.v, 1222-1225.

DOI : 10.1016/j.aap.2007.03.006

Miranda-MoreNo.L. F., Fernandes D., 2011, *Modeling of pedestrian activity at signalized intersections: Land use, urban form, weather, and spatiotemporal patterns*, Coll. "Transportation Research Record ».

Moore D. N., Schneider W. H. T., Savolainen P. T., Farzaneh M., 2011, "Mixed logit analysis of bicyclist injury severity resulting from motor vehicle crashes at intersection and No.n-intersection locations", *Accid Anal Prev*, Vol.43, No.3, May, 621-630.

Morency P., Cloutier M. S., 2006, "From targeted "black spots" to area-wide pedestrian safety », *Inj Prev*, Vol.12, No.6, Dec, 360-364.

DOI : 10.1136/ip.2006.013326

ReyNo.lde C. C., Harris M. A., Teschke K., Cripton P. A., Winters M., 2009, "The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature", *Environ Health*, Vol.8, Oct 21, 47.

RomaNo.w N. T., Couperthwaite A. B., Mccormack G. R., Nettel-Aguirre A., Rowe B. H., Hagel B. E., 2012, "Environmental determinants of bicycling injuries in Alberta, Canada", *J Environ Public Health*, Vol.2012, 487-681.

DOI : 10.1155/2012/487681

Rondier P., Cloutier M.-S., Saunier N., Soto-Rodriguez J.-F., Miranda-MoreNo.L. F., 2015, *Exploring road safety analysis and stakeholder engagement for small and medium-sized communities*, Coll. "94th Annual Transportation Research Board Meeting ».

Saman D. M., Cole H. P., Odoi A., Myers M. L., Carey D. I., Westneat S. C., 2012, "A spatial cluster analysis of tractor overturns in Kentucky from 1960 to 2002 », *PLoS One*, Vol.7, No.1, e30532.

DOI : 10.1371/journal.pone.0030532

Saunier N., Cloutier M. S., Rondier P., Soto-Rodriguez J.-F., Dussault G., Séguin R., Miranda-MoreNo.L., Morency P., Bellavance F., 2014, *Projet pilote de diagNo.stic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal : Rapport final*, Montreal, Polytechnique Montréal et INRS Centre Urbanisation Culture Société.

Schepers J. P., Kroeze P. A., Sweers W., Wust J. C., 2011, "Road factors and bicycle-motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections", *Accid Anal Prev*, Vol.43, No.3, May, 853-861.

DOI : 10.1016/j.aap.2010.11.005

Siddiqui C., Abdel-Aty M., Choi K., 2012, "Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes", *Accid Anal Prev*, Vol.45, Mar, 382-391.

DOI : 10.1016/j.aap.2011.08.003

Stone M., Broughton J., 2003, "Getting off your bike: cycling accidents in Great Britain in 1990-1999", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.35, No.4, 549-556.

DOI : 10.1016/S0001-4575(02)00032-5

Tabachnick B. G., Fidell L. S., 2007, *Using multivariate statistics*, Fifth edition, Boston, Pearson Education Inc.

Thomas B., Derobertis M., 2013, "The safety of urban cycle tracks: a review of the literature", *Accid Anal Prev*, Vol.52, Mar, 219-227.

DOI : 10.1016/j.aap.2012.12.017

Vandenbulcke G., Thomas I., De Geus B., Degraeuwe B., Torfs R., Meeusen R., Int Panis L., 2009, "Mapping bicycle use and the risk of accidents for commuters who cycle to work in Belgium", *Transport Policy*, Vol.16, No.2, 77-87.

DOI : 10.1016/j.tranpol.2009.03.004

Vandenbulcke G., Thomas I., Int Panis L., 2014, "Predicting cycling accident risk in Brussels: a spatial case-control approach", *Accid Anal Prev*, Vol.62, Jan, 341-357.

DOI : 10.1016/j.aap.2013.07.001

Yan X., Ma M., Huang H., Abdel-Aty M., Wu C., 2011, "Motor vehicle-bicycle crashes in Beijing: irregular maneuvers, crash patterns, and injury severity", *Accid Anal Prev*, Vol.43, No.5, Sep, 1751-1758.

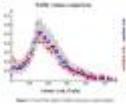
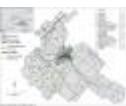
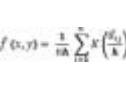
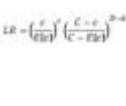
DOI : 10.1016/j.aap.2011.04.006

Notes

1 Quelques tests ont été réalisés sur la taille des pixels (2,5 m et 5 m) et la zone de recherche (100 m, 250 m et 500 m). Les choix ont été faits à partir du rendu visuel de chaque carte de densité, pour maximiser la détection de zones bien distinctes et bien définies dans l'espace.

2 La gravité a été utilisée dans les modèles statistiques, mais aucune pondération en fonction de la gravité n'a été prise en compte pour la fonction *kernel*.

Table des illustrations

	Titre Figure 1 : Les facteurs de risque des collisions entre un véhicule et un cycliste
	URL http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-1.jpg
	Fichier image/jpeg, 128k
	Titre Figure 2 : La probabilité de collision (tous types d'usagers) en fonction du débit véhiculaire
	Crédits Source : Innamaa <i>et al.</i> , 2014
	URL http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-2.jpg
	Fichier image/jpeg, 80k
	Titre Figure 3 : Terrain d'étude
	URL http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-3.jpg
	Fichier image/jpeg, 316k
	Titre Figure 4 : Diagramme expliquant le KDE
	Crédits Source : Adapté de (Gatrell <i>et al.</i> , 1996)
	URL http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-4.png
	Fichier image/png, 73k
	Titre Équation 1
	Légende $f(x, y) = \frac{1}{vh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)$ $d_{ij} = \text{distance séparant les points } i \text{ et } j$ $h = \text{rayon d'influence (de la zone de recherche)}$ $K = \text{fonction noyau}$
	URL http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-5.png
	Fichier image/png, 5,4k
	Titre Figure 5 : Les fenêtres de balayage du Kulldorff
	Crédits Source : Adapté de (Hjalmars <i>et al.</i> , 1996)
	URL http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-6.png
	Fichier image/png, 140k
	Titre Équation 2
	Légende $LR = \left(\frac{c}{cE} \right)^2 \left(\frac{c - e}{c - E} \right)^{2-d}$ $c = \text{nombre total de cas observés dans l'ensemble du territoire}$ $e = \text{nombre de collisions observées dans la fenêtre de balayage}$ $E = \lceil c \rceil = \text{nombre de cas attendus dans la fenêtre}$
	URL http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-7.png
	Fichier image/png, 17k
	Titre Équation 3

Légende	$A = \text{constante } \pi$; $\beta_j = \text{probabilité estimée que le phénomène ait lieu en } i \beta_j = \text{coefficient de régression pour la variable indépendante } j p = \text{nombre de variables indépendantes}$
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-8.png
Fichier	image/png, 7,9k
Titre	Équation 4
Légende	$A = \text{constante } \pi$; $\beta_j = \text{probabilité estimée que le phénomène ait lieu en } i \beta_j = \text{coefficient de régression pour la variable indépendante } j p = \text{nombre de variables indépendantes}$
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-9.png
Fichier	image/png, 9,4k
	Titre Figure 6 : Densité et agrégats spatiaux (1, 2, 3) des collisions
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-10.png
Fichier	image/png, 327k
Titre	Illustration 1 : Agrégat 1
	Crédits Source : Google Street View (2012)
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-11.jpg
Fichier	image/jpeg, 80k
Titre	Illustration 2 : Agrégat 2
	Crédits Source : Google Street View (2012)
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-12.png
Fichier	image/png, 528k
Titre	Illustration 3 : Agrégat 3
	Crédits Source : Google Street View (2012)
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-13.jpg
Fichier	image/jpeg, 108k
	Titre Figure 7 : Densité et agrégats spatiaux (4, 5) des collisions
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-14.png
Fichier	image/png, 347k
Titre	Illustration 4 : Agrégat 4
	Crédits Source : Google Street View (2012)
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-15.png
Fichier	image/png, 501k
Titre	Illustration 5 : Agrégat 5
	Crédits Source : Google Street View (2012)
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-16.png
Fichier	image/png, 437k
	Titre Figure 8 : Densité et agrégats spatiaux (6) des collisions
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-17.png
Fichier	image/png, 265k
Titre	Illustration 6 : Agrégat 6
	Crédits Source : Google Street View (2012)
URL	http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/32087/img-18.jpg

Pour citer cet article

Référence électronique

Marie-Soleil Cloutier, Ryan Séguin et Nicolas Saunier, « Environnement routier et blessés cyclistes résultant d'une collision avec un véhicule : quels facteurs de risque dans un milieu régional faiblement densifié ? », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Aménagement, Urbanisme, document 893, mis en ligne le 15 avril 2019, consulté le 11 mars 2020. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/32087> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.32087>

Auteurs

Marie-Soleil Cloutier

Institut National de la Recherche Scientifique, Canada, marie-soleil.cloutier@ucs.inrs.ca

Ryan Séguin

Institut National de la Recherche Scientifique, Canada, ryan.seguin@ucs.inrs.ca

Nicolas Saunier

Polytechnique Montréal, Canada, nicolas.saunier@polymtl.ca

Droits d'auteur



La revue *Cybergeo* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 non transposé.

Ce site utilise des cookies et collecte des informations personnelles vous concernant.

Pour plus de précisions, nous vous invitons à consulter notre politique de confidentialité (mise à jour le 25 juin 2018).

En poursuivant votre navigation, vous acceptez l'utilisation des cookies.

[Fermer](#)