

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE – URBANISATION CULTURE SOCIÉTÉ**

**ENVIRONNEMENT ROUTIER ET BLESSÉS CYCLISTES RÉSULTANTS
D'UN ACCIDENT AVEC UN VÉHICULE : QUELS FACTEURS DE
RISQUE DANS UN MILIEU URBAIN FAIBLEMENT DENSIFIÉ ?**

Par

Ryan SÉGUIN

Bachelier ès sciences , B.Sc.

Mémoire présenté pour obtenir le grade de

Maître ès sciences, M.Sc.

Maîtrise en études urbaines

Programme offert conjointement par l'INRS et l'UQAM

Janvier 2016

Ce mémoire intitulé

**ENVIRONNEMENT ROUTIER ET BLESSÉS CYCLISTES RÉSULTANTS
D'UN ACCIDENT AVEC UN VÉHICULE : QUELS FACTEURS DE
RISQUE DANS UN MILIEU URBAIN FAIBLEMENT DENSIFIÉ ?**

et présenté par

Ryan SÉGUIN

a été évalué par un jury composé de

Mme Marie-Soleil CLOUTIER directrice de recherche, Centre Urbanisation Culture
Société de l'INRS

M. Ugo LACHAPELLE, examinateur interne, UQAM

M. Luis F. MIRANDA-MORENO, examinateur externe, McGill

RÉSUMÉ

L'importance accordée à la santé, à l'environnement et à la mobilité durable font du vélo un choix de plus en plus privilégié comme mode de transport. Toutefois, le cycliste est 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 liés à l'environnement routier pour les accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé dans un milieu moins dense de « villes régionales » (MRC d'Arthabaska). Pour analyser les données d'accidents, plusieurs méthodes ont été utilisées : le Kernel Density Estimation, les statistiques de balayage de Kulldorff la régression de Poisson et la régression logistique. Nos résultats nous démontrent que les concentrations spatiales d'accidents sont principalement à proximité d'infrastructures cyclables et aux intersections. Il existe quelques facteurs à risque pour expliquer un accident (intersection; présence d'infrastructures cyclables; milieu urbain; artères urbaines) et pour expliquer un blessé (absence d'infrastructures cyclables; jeunes cyclistes (15 ans et moins); l'éclairage). En conclusion, il existe certaines similitudes et différences entre nos résultats et ceux de la littérature existante bien que le territoire d'étude soit un milieu peu dense. Les facteurs de risque semblables aux milieux urbains très denses sont les intersections, les artères urbaines et l'âge des victimes et les facteurs de risque propre aux régions à faible densité de population sont le milieu urbain, la présence d'infrastructures cyclables et l'éclairage (nuit).

Mots-clés : Cycliste, véhicule motorisé, accident de la route, risque, blessure, villes régionales

ABSTRACT

The focus on health, the environment and sustainable mobility make cycling a preferred choice as a mode of transportation. However, cyclists are very vulnerable at the time 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 accidents between a cyclist and a motor vehicle in a less dense “regional environment” (small and medium sized communities), the RCM of Arthabaska. To analyze accident 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 accidents are mostly near the cycling infrastructure and intersections. There are some risk factors to explain an accident (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, there are some similarities and differences between our results and those of the literature although the study area is located in a low density setting. Similar risk factors to highly densified urban areas are intersections, urban arteries 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).

Keywords: Cyclist, motor vehicle, road accident, risk, injury, small and medium sized communities

AVANT-PROPOS

Les données utilisées pour ce mémoire proviennent du projet « Arthabaska » (Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal pour le territoire de la Municipalité régionale de comté d'Arthabaska) qui a été réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec. Dans le cadre de ce projet, quatre problématiques spécifiques ont été identifiées en fonction de regroupements statistiques et spatiaux (Saunier et al. 2013a). Une de ces problématiques est les accidents entre un véhicule motorisé et un cycliste. Parmi les quatre problématiques, cette dernière possède la proportion d'accidents avec blessé la plus élevée. Cette problématique n'a pas été approfondie dans les limites du projet « Arthabaska », d'où la pertinence de l'aborder pour ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes m'ont encouragé lors de la réalisation de ce mémoire. Je tiens d'abord à remercier ma directrice de recherche Marie-Soleil Cloutier de m'avoir donné la chance de travailler avec elle et de m'avoir dirigé tout au long de ma maîtrise. Elle a été une directrice extraordinaire, étant toujours disponible pour me guider et me soutenir, mais j'ai surtout apprécié son humanité et son côté très « terre à terre ». Je la remercie également de m'avoir intégré au sein de l'équipe du Laboratoire d'Analyse Spatiale et d'Économie Régionale (LASER). Le fait de côtoyer ces merveilleuses personnes a grandement contribué à rendre cette expérience des plus agréables.

Je voudrais aussi remercier Philippe Apparicio pour son enseignement des plus formateurs. J'ai grandement apprécié sa pédagogie lors des séances de cours de méthodes quantitatives et d'analyse spatiale. Sa patience combinée à son humour a certainement facilité l'apprentissage des nombreuses méthodes que j'ai mis en œuvre dans ce mémoire.

Finalement, je voudrais remercier mes amis et ma famille qui m'ont beaucoup encouragé et qui ont toujours cru que j'allais réussir dans tout ce que j'entreprenais. Sans vous, je n'aurais probablement pas accompli toutes ces années d'études pour me rendre où j'en suis aujourd'hui.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux	x
Liste des figures	xi
Introduction	1
Chapitre 1 : PROBLÉMATIQUE et REVUE DE LITTÉRATURE	3
1.1 Le vélo comme mode de transport.....	3
1.1.1 <i>Le vélo en milieu urbain</i>	4
1.1.2 <i>Les particularités du milieu périurbain et rural</i>	6
1.2 Sécurité à vélo et environnement routier	7
1.2.1 <i>Le risque d'accident de la route à vélo</i>	8
1.2.2 <i>La gravité des blessures à vélo</i>	10
1.2.3 <i>Les différences entre les facteurs de risque des accidents et la gravité des blessures</i>	13
1.3. Les lacunes dans les travaux à ce jour	14
1.4. Objectif, question et hypothèse de recherche	16
Chapitre 2 : MÉTHODOLOGIE	17
2.1 Terrain d'étude.....	17
2.2 Données	18
2.3 Méthodes d'analyse	22
2.3.1 <i>Détection de points chauds et de regroupements spatiaux</i>	23
2.3.2 <i>Modèles prédictifs des accidents et de la gravité</i>	27
Chapitre 3 : RÉSULTATS : ENVIRONNEMENT ROUTIER ET BLESSÉS CYCLISTES RÉSULTANT D'UN ACCIDENT AVEC UN VÉHICULE : QUELS FACTEURS DE RISQUE DANS UN MILIEU URBAIN FAIBLEMENT DENSIFIÉ ?	32
3.1 Sécurité et cyclistes sur la route.....	32
3.1.1 <i>Le risque d'accident de la route impliquant un cycliste</i>	34
3.1.2 <i>La gravité des blessures des cyclistes impliqués</i>	35
3.1.3 <i>Le risque d'accident et la gravité des blessures</i>	36

3.1.4 Pourquoi étudier le risque et la gravité des accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé dans une ville régionale ?	38
3.2 Données et méthodes	39
3.2.1 Terrain d'étude	39
3.2.2 Données.....	40
3.2.3 Analyses.....	43
3.3 Résultats.....	48
3.3.1 Analyse descriptive des accidents	48
3.3.2 Détection des points chauds d'accidents impliquant un cycliste.....	51
3.3.3 Modèle prédictif des accidents	56
3.3.4 Modèle prédictif des accidents avec blessures	57
3.4 Discussion	58
3.4.1 Des ressemblances entre les agrégats spatiaux et le modèle prédictif des accidents	58
3.4.2 Des facteurs de risque semblables aux milieux urbains : intersection, artère urbaine et âge des victimes	58
3.4.3 Des facteurs de risque propre aux régions à faible densité de population : milieu rural, infrastructures cyclables et éclairage.....	59
3.5 Conclusion.....	60
Chapitre 4 : DISCUSSION	63
4.1 Divers éléments pouvant expliquer la présence de points chauds et de regroupements spatiaux d'accidents	63
4.2 Des ressemblances entre les agrégats spatiaux et le modèle prédictif des accidents	64
4.3 Des facteurs de risque semblables aux milieux urbains : intersection, artère urbaine et âge des victimes	64
4.4 Des facteurs de risque propre aux régions à faible densité de population : milieu rural, infrastructure cyclable et éclairage.....	65
4.5 Limites de l'étude	66
Conclusion.....	69
Annexe 1 : Formulaire pour la collecte de données sur les tronçons et les carrefours... 71	

Annexe 2 : Formulaires pour les comptages..... 73
Bibliographie 75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Liste des données intégrées dans la base de données spatiale du projet « Arthabaska »	19
Tableau 2.2 : La gravité d'un accident impliquant un véhicule motorisé définie par la Société d'assurance automobile du Québec (SAAQ)	22
Tableau 2.3 : Variables disponibles dans la base de données pour le modèle prédictif des accidents.....	29
Tableau 2.4 : Variables disponibles dans la base de données pour le modèle prédictif des accidents avec blessure	31
Tableau 3.1 : Liste des données intégrées dans la base de données spatiale du projet « Arthabaska »	41
Tableau 3.2 : La gravité d'un accident impliquant un véhicule motorisé définie par la Société d'assurance automobile du Québec (SAAQ)	43
Tableau 3.3 : Statistiques descriptives des accidents et tests d'ANOVA et de Khi-2	50
Tableau 3.4 : Détection des agrégats spatiaux (AD) des accidents selon Kulldorff.....	51
Tableau 3.5 : Résultats de la régression de Poisson sur le nombre total d'accidents par tronçon (y).....	56
Tableau 3.6 : Résultat de la régression logistique sur le fait d'avoir un accident cycliste avec blessé (y=1) ou non.....	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Les facteurs de risque des accidents entre un véhicule et un cycliste.....	7
Figure 1.2 : Le niveau de risque estimé d'accident par rapport à la densité du trafic de véhicule	12
Figure 2.1 : Le territoire d'étude – MRC d'Arthabaska	18
Figure 2.2 : Diagramme expliquant le KDE.....	24
Figure 2.3 : Les fenêtres de balayage de Kulldorff.....	26
Figure 3.1 : Les facteurs de risque des accidents entre un véhicule et un cycliste.....	33
Figure 3.2 : Le niveau de risque estimé d'accident par rapport à la densité du trafic de véhicule	38
Figure 3.3 : Le territoire d'étude – MRC d'Arthabaska	40
Figure 3.4 : Diagramme expliquant le KDE.....	44
Figure 3.5 : Les fenêtres de balayage de Kulldorff.....	46
Figure 3.6 : Densité et agrégats spatiaux (1, 2, 3) des accidents.....	52
Figure 3.7 : Agrégat 1.....	53
Figure 3.8 : Agrégat 2.....	53
Figure 3.9 : Agrégat 3.....	53
Figure 3.10 : Densité et agrégats spatiaux (4, 5) des accidents.....	54
Figure 3.11 : Agrégat 4.....	54
Figure 3.12 : Agrégat 5.....	54

Figure 3.13 : Densité et agrégats spatiaux (6) des accidents 55

Figure 3.14 : Agrégat 6..... 56

INTRODUCTION

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 font un choix privilégié comme activité de loisir ou comme mode de transport, bien que sa pratique demeure moins élevée qu'en Europe (Bassett et al. 2008). Dans ce contexte, plusieurs mesures sont maintenant implantées 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 (Larose 2011). 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 environ 10 accidents sur 1000 sont fatals, peu importe le milieu environnant, urbain ou rural. En comparaison, dans les cas où un cycliste fait une chute, mais qu'un véhicule motorisé n'est pas impliqué, 50 cyclistes sur 1000 doivent être hospitalisés et moins d'un accident sur 1000 est fatal (Coulombe 2011).

Par ailleurs, ce risque accru pour tous les cyclistes lors d'une collision semble 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 sont encore moins sécuritaires (Bil et al. 2010; Biret et al. 2004; Yan et al. 2011). Selon Fortier et al. (2009) et Larose et al. (2011), 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, augmentant par le fait même le risque de décès.

Malgré le fait que le risque de collision et de blessures graves en milieu périurbain et rural soit très élevé, ce sont principalement les régions urbaines densément peuplées qui ont été étudiées dans les recherches existantes. Il nous apparaît donc important d'approfondir les connaissances sur les régions moins densément peuplées. D'ailleurs, en plus du fait que les études existantes en lien avec la sécurité routière des cyclistes soient peu nombreuses, la gravité des blessures subies par les cyclistes est encore moins abordée. Selon Dumbaugh et Li (2011), Dumbaugh et al. (2013) et Romanow et al. (2012), il serait intéressant de distinguer les collisions sans blessé et les collisions avec blessé. L'environnement bâti gagnerait également à être intégré dans l'analyse du risque et de la gravité des accidents (Zahabi et al. 2011). Il est aussi important de bien comprendre comment l'environnement routier peut contribuer à la sécurité routière des

cyclistes, car l'amélioration de ces environnements permettrait possiblement de réduire le risque d'accident et la gravité des blessures pour ces usagers vulnérables de plus en plus nombreux (Reynolds et al. 2009).

Le présent mémoire est organisé en quatre parties principales. Le premier chapitre comprend une revue de la littérature et une présentation de la problématique, ainsi que l'objectif, la question et l'hypothèse de recherche. Le second chapitre présente la méthodologie utilisée pour réaliser la présente étude, ce qui inclut le terrain d'étude, les données et les méthodes d'analyse spatiale et statistique pour traiter les données. Le troisième chapitre contient un article qui a été soumis à la revue *Cybergeog*. Ce chapitre présente les résultats obtenus, soit une analyse descriptive des accidents, une détection des points chauds d'accidents et une analyse des modèles prédictifs des accidents. Finalement, un quatrième chapitre comprend une discussion qui est une synthèse des résultats obtenus en présentant les éléments pouvant expliquer la présence de points chauds d'accident, ainsi que les facteurs de risque semblables et différents entre les milieux urbains à haute et faible densité. Ce chapitre se conclut par les limites de la présente étude.

Il est à noter que ce mémoire de maîtrise comprend un article qui a été soumis à une revue avec comité de lecture (*Cybergeog*). Cet article agit comme le chapitre des résultats, donc certains éléments des chapitres de la revue de littérature, de la méthodologie et de la discussion seront répétés.

CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE ET REVUE DE LITTÉRATURE

Pour mettre en contexte l'étude, un portrait des travaux scientifiques portant sur la sécurité routière des cyclistes sera présenté. D'abord, l'évolution du vélo comme mode de transport en milieu urbain sera brièvement présentée, suivie des particularités des milieux périurbains et ruraux. Ensuite, le risque d'accident en-soi et la gravité des blessures entraînées, en lien avec l'environnement routier, seront discutés pour faire état des connaissances qui sont à la base de la problématique de recherche. Le présent chapitre sera conclu avec l'objectif, la question et l'hypothèse de recherche de l'étude.

1.1 Le vélo comme mode de transport

L'importance accordée à la santé, à l'environnement et à la mobilité durable font du vélo un choix privilégié comme activité de loisirs et aussi comme mode de transport. En 2010, il y avait 500 000 cyclistes de plus qu'en 2005, ce qui portait le total à environ 4 millions de cyclistes au Québec (Coulombe 2011). De plus, l'utilisation du vélo comme moyen de transport occasionnel ou quotidien par les adultes est en forte augmentation au Québec, passant de 20% en 2000 à 37% en 2010. Pour 372 000 adultes, le vélo est le principal mode de transport de mai à septembre. Le réseau cyclable québécois s'est également considérablement développé. En effet, il a atteint un peu plus de 9 000 km en 2010, presque doublant en une dizaine d'années (Coulombe 2011). Ce réseau cyclable inclut la Route Verte, lancée en 2007, reliant une grande partie du Québec et étant le plus grand itinéraire cyclable en Amérique du Nord. Aujourd'hui, elle atteint un peu plus de 5 000 km (Vélo Québec 2014). Malgré la popularité grandissante du vélo comme mode de transport et l'agrandissement du réseau cyclable, sa pratique demeure beaucoup moins élevée au Québec que ce qui est observé en Europe. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment le fait qu'en Europe les éléments de l'environnement routier sont plus convenables et sécuritaires pour les cyclistes (Bassett et al. 2008).

La popularité croissante du vélo pourrait être due en partie par sa promotion comme étant un mode de transport qui procure plusieurs bénéfices pour la santé et l'environnement, tout en réduisant la congestion routière (Boufous et al. 2012; Vélo Québec 2013). Selon une revue de littérature réalisée par Oja, P. et al. (2011), 14 études sur 16 concluent que la pratique du vélo procure des bénéfices pour la santé. Son utilisation comme moyen de transport contribue aussi

à réduire les gaz à effet de serre (Woodcock et al. 2007). Enfin, il contribue à favoriser l'apaisement de la circulation et la préservation de l'espace public (Larose 2011).

À l'intérieur des zones urbaines denses, le vélo est le mode de transport le plus rapide, si l'on considère qu'environ 50% des trajets sont d'une distance de moins de 3 kilomètres et que les vitesses permises y sont faibles (Biret et al. 2004; Larose 2011). Il permet une certaine autonomie, tout en ne nécessitant pas un espace de stationnement pareil à l'automobile et en ne subissant pas de rupture de charge comme le transport collectif. Par conséquent, le vélo est un mode de transport rapide, efficace et abordable, tout en faisant partie d'une planification durable en matière de transport (Marré 2011). Cependant, on doit tenir compte de quelques contraintes de nature physique et climatique (topographie, intempéries), et aussi de nature urbanistique, comme l'absence de stationnements sécuritaires (supports à vélo), de vestiaires et de douches à destination (Marré 2011). Le vélo ne peut donc pas remplacer entièrement l'automobile pour certains usagers, quoiqu'il puisse être un mode complémentaire efficace (Larose 2011).

1.1.1 Le vélo en milieu urbain

La primauté de l'automobile depuis les années 1960 a eu une influence importante sur l'aménagement des villes, ce qui a favorisé grandement l'étalement urbain. Ceci a rendu le vélo peu attrayant comme mode de transport, en raison des distances souvent très longues à parcourir pour se rendre à destination (Biret et al. 2004). Toutefois, selon Quetelard (2013), « les années 2000 ont vu la 'réhabilitation' du vélo comme mode urbain utilitaire ». La mobilité est aujourd'hui beaucoup plus complexe, car le contexte récent (congestion routière, pollution de l'air, hausse du prix de l'essence) décourage les flux de déplacements en masse, donc les modes de transport traditionnels (automobile versus transport collectif) ne sont plus entièrement convenables (Marré 2011; Quetelard 2013). On favorise plutôt un environnement urbain dense dans l'objectif de rapprocher les services de la population (Vélo Québec 2013). C'est pourquoi « (...) le vélo constitue l'un des ingrédients clés d'un cocktail transport adapté aux besoins actuels » (Coulombe 2011).

Dans ce contexte, plusieurs mesures sont maintenant implantées 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 sécuritaire (Larose 2011). En effet, plusieurs municipalités au

Québec intègre le vélo dans le cadre de leur plan de mobilité durable et mettent en place des aménagements favorables aux cyclistes, notamment pour améliorer l'efficacité de leurs déplacements ainsi que leur sécurité (Coulombe 2011; Eluru et al. 2008; Vélo Québec 2013). Selon le sondage « Ville active », réalisé par Vélo Québec auprès de 28 municipalités en 2010 sur les mesures de modération de la circulation (Coulombe 2011) :

- « une seule indique n'avoir aucun aménagement du genre ;
- près du deux tiers disposent d'avancées de trottoir ;
- le tiers ont des intersections surélevées ;
- les quatre cinquièmes possèdent des dos d'âne allongés ;
- les trois quarts ont des segments de rue avec chaussée rétrécie par marquage au sol et ajout de terre-plein ;
- 16 disposent d'un budget annuel récurrent pour la mise en place (...) de mesures d'apaisement de la circulation (...);
- 11 villes investissent chaque année dans le développement de leur réseau cyclable. »

Toutefois, selon Vélo Québec (2013), l'amélioration de la circulation à vélo n'est pas encore optimale, car on attend toujours des mesures plus concrètes de la part des municipalités. Il existe toujours de nombreux problèmes : « trop peu d'investissements publics dans le transport actif en général, aménagements cyclables pas toujours fonctionnels et sécuritaires, liens cyclables manquants, signalisation déficiente, stationnements pour vélos insuffisants ou de conception inadéquate, encore trop peu de compatibilité avec le transport collectif et difficulté de cohabitation avec les automobiles » (Vélo Québec 2013). Pourtant, l'implantation d'aménagements favorables au vélo peut être très simple, comme la réduction de la largeur ou le retrait complet d'une voie à la circulation automobile ou d'espaces de stationnement.

En attendant des mesures plus concrètes qui amélioreront la circulation et la sécurité des cyclistes, l'usage du vélo demeure relativement marginal au Québec, soit de 1 à 9% des déplacements quotidiens, tandis qu'une part importante (de 30 à 55%) des déplacements de moins d'un kilomètre est faite en automobile (Vélo Québec 2013). D'après plusieurs sondages, l'insécurité liée à la pratique du vélo est le facteur le plus cité expliquant pourquoi les gens ne l'utilisent pas comme mode de transport (Chen et al. 2012; Reynolds et al. 2009). Selon une enquête réalisée par Vélo Québec (2013), avec des rues aménagées de façon plus sécuritaire, 70% des Québécois utiliseraient davantage le vélo comme mode de transport. Ce sentiment de

sécurité traduit un risque bien réel. Les collisions entre un cycliste et un véhicule motorisé impliquent un risque de blessure particulièrement élevé et sévère par comparaison aux autres types d'accidents impliquant un cycliste (Chen et al. 2012; Reynolds et al. 2009), d'où l'importance de bien comprendre les facteurs de risque pour ce type d'accident (Chen et al. 2012; Teschke et al. 2012). D'ailleurs, l'environnement routier est un des facteurs qui pourrait avoir un effet significatif sur le niveau de gravité des accidents impliquant les cyclistes (Zahabi et al. 2011), surtout en milieu urbain moins densifié où le risque d'accident grave est souvent plus élevé (Amsden et Huber 2006; Fortier et al. 2009; Meuleners et al. 2007).

1.1.2 Les particularités du milieu périurbain et rural

Bien que la situation du vélo en milieu urbain se soit améliorée, le risque accru pour tous les cyclistes lors d'une collision semble amplifié en milieu périurbain et rural, en raison d'un réseau routier peu étendu et de vitesses plus élevées (Bil et al. 2010; Biret et al. 2004; Yan et al. 2011). Selon Fortier et al. (2009) et Larose et al. (2011), les blessures subies par les cyclistes en milieu périurbain et rural sont plus graves 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, augmentant par le fait même le risque de décès. Le milieu périurbain se caractérise par des routes destinées a priori pour les voitures, ce qui laisse très peu de place pour le vélo (Larose et al. 2011).

Par ailleurs, le milieu périurbain et rural est aussi caractérisé par une présence accrue de véhicules lourds, de dénivellations et de courbes et d'accotements de piètre qualité (Fortier et al. 2009). La masse des véhicules lourds est plus importante, ce qui augmente la gravité des blessures aux cyclistes; les dénivellations et les courbes plus prononcées rendent les cyclistes moins visibles; et les accotements sont peu confortables pour les cyclistes, car ils sont souvent recouverts de sable et de gravier et impliquent la présence d'herbes et de fossés. Les entrées commerciales et résidentielles en bordure de la route sont beaucoup plus nombreuses en milieu périurbain qu'en milieu urbain dense, donc le risque de conflit est plus élevé entre un cycliste et un véhicule motorisé (Fortier et al. 2009). Tous ces éléments contribuent à réduire davantage la sécurité des cyclistes en milieu périurbain et rural par rapport au milieu urbain dense.

1.2 Sécurité à vélo et environnement routier

Lorsqu'il est question de sécurité à vélo, deux volets en particulier sont abordés dans les travaux antérieurs, en même temps ou séparément : le risque d'accident de la route en-soi et la gravité des blessures en résultant (Figure 1.1). Les éléments de l'environnement bâti associés au risque d'accident et à la gravité des blessures sont possiblement différents l'un de l'autre, donc plusieurs mesures doivent être considérées (Romanow et al. 2012). Il est important de bien comprendre comment l'environnement routier contribue à la sécurité routière des cyclistes, car l'amélioration de cet environnement permettrait possiblement de réduire le risque d'accident et la gravité des blessures pour les usagers vulnérables de plus en plus nombreux que sont les cyclistes (Reynolds et al. 2009). Cette compréhension permettra de mettre en place des mesures préventives plus efficaces (Boufous et al. 2012), notamment par rapport aux infrastructures routières.

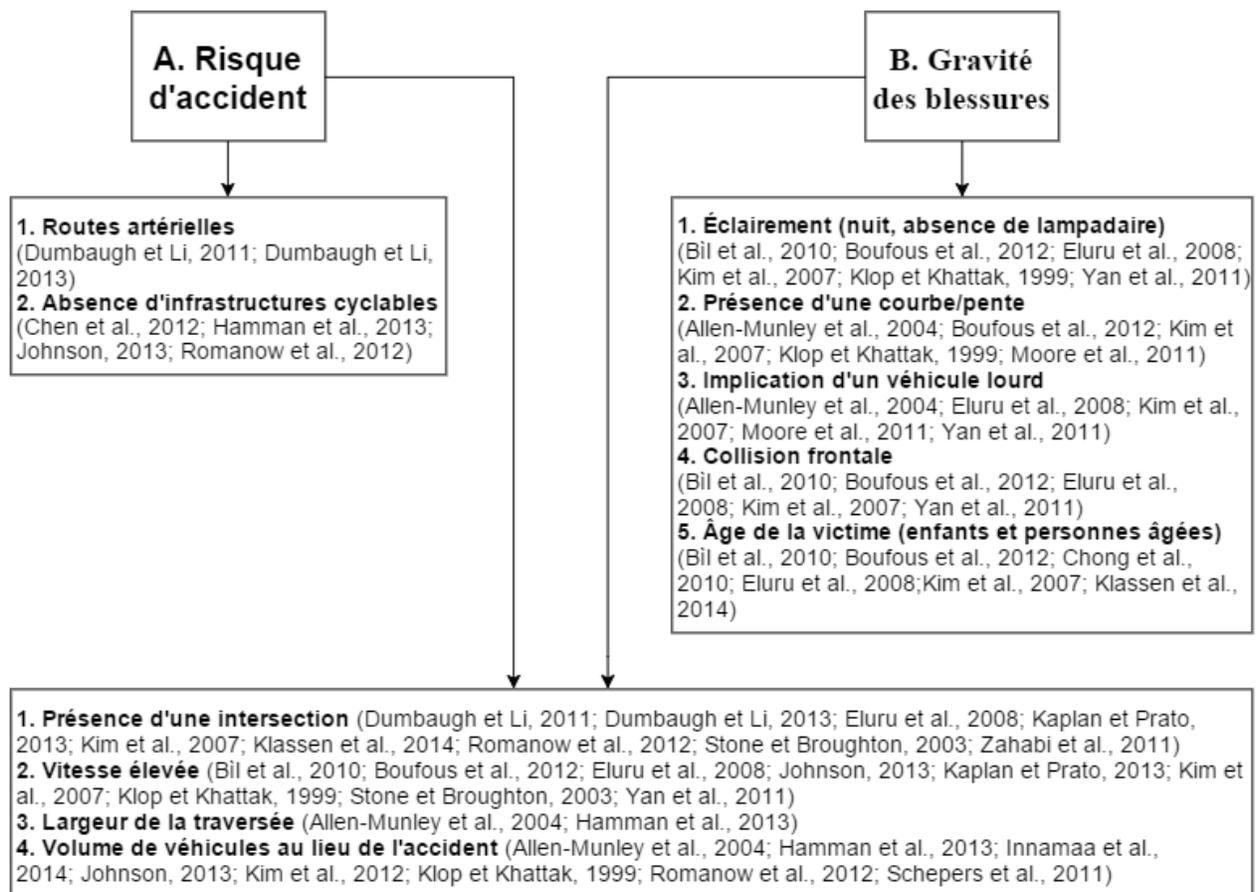


Figure 1.1 : Les facteurs de risque des accidents entre un véhicule et un cycliste

Source : Auteur

1.2.1 Le risque d'accident de la route à vélo

Un accident se définit comme un événement où un cycliste est heurté par un autre objet, dans ce cas-ci, un véhicule motorisé (Reynolds et al. 2009). Les accidents qui résultent d'une collision entre un cycliste et un véhicule motorisé sont souvent les plus sévères et peuvent même être mortels (Bil et al. 2010; Yan et al. 2011). Rappelons que le cycliste est très vulnérable au moment de la collision, 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 environ 10 accidents sur 1000 sont fatals, peu importe le milieu environnant, urbain ou rural (Coulombe 2011). En comparaison, dans les cas où un cycliste fait une chute, mais qu'un véhicule motorisé n'est pas impliqué, 50 cyclistes sur 1000 doivent être hospitalisés et moins d'un accident sur 1000 est fatal.

Le risque d'accident est mesuré par le taux d'accidents ou la fréquence d'accidents pour une unité géographique donnée (Kim et al. 2007). Quoiqu'une relation causale ne puisse pas être nécessairement établie, les chercheurs tentent d'associer ce risque à des variables explicatives (facteurs de risque). En connaissant les variables qui influencent le risque d'accident, il devient donc possible d'améliorer le design géométrique des routes, ainsi que les infrastructures, pour rendre l'environnement routier plus sécuritaire pour les cyclistes (Eluru et al. 2008; Vandebulcke et al. 2014). Les variables environnementales du réseau routier qui sont associées à un accident entre un cycliste et un véhicule motorisé sont nombreuses : la présence d'une intersection, le volume élevé de véhicules motorisés et de véhicules lourds, les routes de type artériel, la largeur élevée de la traversée et la vitesse élevée des véhicules. À l'inverse, la présence d'infrastructures cyclables réduit le risque d'un accident.

Tout d'abord, il existe un fort consensus dans les travaux à ce jour sur le lien entre la présence d'une intersection et le risque de collision entre un véhicule et un cycliste. En effet, une grande portion des accidents dans les travaux recensés ont lieu à proximité d'une intersection (moins de 20 mètres), notamment en raison d'une complexité accrue à ces endroits (nombreuses voies et signalisations) où il y a un plus grand nombre d'interactions et de conflits potentiels entre les véhicules et les vélos (Dumbaugh et Li 2010; Dumbaugh et al. 2013; Kaplan et Prato 2013; Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012; Siddiqui et al. 2012; Stone et Broughto 2003; Strauss et al. 2013; Vandebulcke et al. 2014). Le risque d'accident est encore plus élevé lorsque des infrastructures cyclables sont aménagées, car des mesures sont rarement prises aux intersections pour tenir compte de ce type d'aménagement (Chen et al. 2012). Selon Mirando-

Moreno et al. (2011), 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 le risque d'accident (Thomas et DeRobertis 2013).

Selon Hamman et al. (2013), Johnson (2013), Kim et al. (2012), Romanow et al. (2012), Schepers et al. (2011) et Teschke et al. (2012), un volume de trafic automobile élevé augmente le risque d'accident. Les routes très achalandées sont reconnues pour réduire considérablement la mobilité des cyclistes aux intersections, ce qui augmente l'exposition au risque (Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012). Il a aussi été démontré qu'un niveau élevé de trafic de véhicules lourds augmente le risque d'accident. En effet, les véhicules lourds sont plus sujets à l'angle mort lorsqu'ils effectuent des virages, ce qui limite souvent la marge de manœuvre des cyclistes (Vandenbulke et al. 2014). Dumbaugh et Li (2010), Dumbaugh et al. (2013) et Strauss et al. (2015) ont établi que les routes artérielles, où le volume de trafic automobile est élevé, sont importantes dans le risque d'accident impliquant un cycliste. Cela s'explique par le fait que ce type de route est aménagé de façon à favoriser la fluidité des automobiles en raison d'un nombre de voies élevé et d'une largeur de la chaussée plus importante. Puisque la durée d'exposition du cycliste à une interaction avec un véhicule est plus élevée si la chaussée est très large aux intersections, cette caractéristique de la géométrie des rues est reconnue pour augmenter le risque (Hamman et al. 2013; Strauss et al. 2013; Strauss et al. 2014). Lorsqu'en milieu plus dense, ces routes artérielles croisent un grand nombre de rues locales et de commerces, créant ainsi des lieux de conflits potentiels en plus grand nombre (Dumbaugh et Li 2010). Ce type de route a également pour conséquence une réduction du champ de vision des automobilistes et une augmentation de la distance de freinage à cause des vitesses pratiquées plus élevées, ce qui vient aussi augmenter le risque d'accident en présence d'un cycliste (Dumbaugh et Li 2010; Dumbaugh et al. 2013). Une vitesse pratiquée peu élevée permet aux automobilistes de réagir convenablement et d'éviter un cycliste lorsqu'il y a une situation conflictuelle (Siddiqui et al. 2012). L'étude de Stone et Broughton (2003) démontre pour leur part que le risque d'accident augmente graduellement avec l'augmentation de la limite de vitesse, une autre variable utilisée comme facteur de risque.

Plus récemment, il a été démontré que l'existence d'infrastructures cyclables réduit le risque qu'il y ait un accident entre un cycliste et un véhicule motorisé (Chen et al. 2012; Hamman et al. 2013; Romanow et al. 2012; Strauss et al. 2013; Teschke et al. 2012; Thomas et DeRobertis 2013). La présence de ces infrastructures amène les automobilistes à réduire leur vitesse

puisque les cyclistes y sont plus visibles ou encore en plus grand nombre qu'ailleurs (Chen et al. 2012). Jacobsen (2003) a d'ailleurs testé l'hypothèse de l'effet protecteur du nombre élevé de cyclistes : ses résultats ont démontré que bien qu'une relation causale ne puisse être établie et que l'environnement bâti ne soit pas inclus dans ses analyses, cet effet se fait clairement sentir dans l'historique d'accident de certains endroits. Le risque d'accident et de blessure encouru par cycliste diminuerait donc avec l'augmentation du nombre de cyclistes (Strauss et al. 2013; Strauss et al. 2015). Par contre, l'effet inverse (le nombre élevé de cyclistes augmenterait le risque) a été exploré dans d'autres travaux sur la présence d'infrastructures cyclables (Johnson 2013). Cet auteur conclut qu'un plus grand nombre de cyclistes signifie un plus grand nombre d'accidents. En complément, Chen et al. (2012) et Hamman et al. (2013) affirment également que la séparation des cyclistes et des automobiles avec du marquage au sol (chaussée désignée, bande cyclable unidirectionnelle) a le potentiel de réduire les conflits 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 le risque d'accident pour le cycliste selon Loo et Tsui (2010), Lusk et al. (2013) et Teschke et al. (2012). Cela contredit Herslund et Jorgensen (2003), Schepers et al. (2011) et Thomas et DeRobertis (2013). Ces auteurs attestent que les automobilistes se concentrent plutôt à évaluer leur environnement immédiat et moins les cyclistes qui circulent sur des voies séparées physiquement du trafic automobile, ce qui augmenterait donc le risque de collision aux intersections dû à leur inattention. Cette problématique aux intersections explique pourquoi l'aménagement d'une bande cyclable unidirectionnelle est généralement plus sécuritaire qu'une piste cyclable bidirectionnelle avec une séparation physique du trafic automobile (Thomas et DeRobertis 2013).

1.2.2 La gravité des blessures à vélo

Les accidents entre un cycliste et un véhicule peuvent aussi être associés avec un type de blessure, donc il est possible d'étudier les facteurs associés à la gravité des blessures (Kim et al. 2007). Les éléments de l'environnement routier les plus importants pour expliquer la gravité des blessures aux cyclistes sont la vitesse élevée du véhicule motorisé, la largeur de la traversée, la présence d'une intersection et le volume de trafic véhiculaire. En plus de l'environnement routier, les circonstances de l'accident et les caractéristiques des victimes peuvent également expliquer la gravité des blessures aux cyclistes : l'éclairage (jour/nuit,

lampadaire), la présence d'une courbe ou d'une pente, l'implication d'un véhicule lourd, le type de collision et l'âge de la victime.

La vitesse des véhicules motorisés, mesurée via la vitesse permise ou la vitesse réelle, demeure un facteur important pour la gravité des blessures. De façon générale, les auteurs s'entendent tous pour affirmer qu'une vitesse élevée équivaut à un impact potentiellement plus violent entre l'automobiliste et le cycliste (Bil et al. 2010; Boufous et al. 2012; Eluru et al. 2008; Kaplan et Prato 2013; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; Siddiqui et al. 2012; Vandenbulcke et al. 2014; Yan et al. 2011). Par ailleurs, lorsque la largeur de la voie est plus étroite, 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 lors d'un conflit avec un cycliste (Allen-Munley et al. 2004).

Les résultats sont contradictoires pour l'effet de la présence d'une intersection sur la gravité des blessures. Les résultats de Klassen et al. (2014), Strauss et al. (2014), Strauss et al. (2015) et Zahabi et al. (2011) démontrent qu'un accident à une intersection augmente la gravité des blessures, en particulier lorsqu'il y a de la signalisation (panneau ARRÊT, panneau CÉDEZ, feu de circulation). Klassen et al. (2014) font l'hypothèse qu'en présence d'une intersection avec signalisation qui indique la direction et la priorité du trafic, les automobilistes et les cyclistes évalueraient moins leur environnement laissant la signalisation les guider, ce qui peut mener à un accident dû à un manque de vigilance. À l'opposé, Eluru et al. (2008) affirment que les accidents aux intersections avec signalisation sont moins graves pour la raison inverse : 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.

De même que pour l'effet de la présence d'une intersection, les travaux sur le lien entre le volume de trafic et la gravité obtiennent des résultats contradictoires. D'un côté, un volume de trafic élevé augmente la gravité des blessures, car cela réduit l'espace de cohabitation entre les automobilistes et les cyclistes (Allen-Munley et al. 2004; Strauss et al. 2014). À l'opposé, Klop et Khattak (1999) affirment qu'un volume élevé réduit la gravité d'un accident 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 possiblement plus prudents lorsque le nombre de véhicules pouvant les heurter est élevé. Innamaa et al. (2014) a démontré que le risque d'accident augmente avec le

volume de trafic pour ensuite diminuer lorsqu'il y a de la congestion (Figure 1.2). Cela explique possiblement les résultats contradictoires discutés ci-haut.

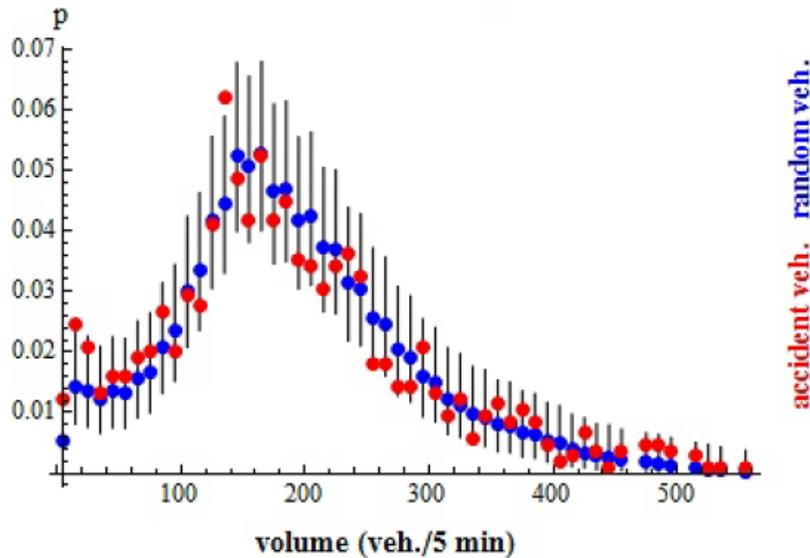


Figure 11. Test of the impact of traffic volumes on road accidents.

Figure 1.2 : Le niveau de risque estimé d'accident par rapport à la densité du trafic de véhicule

Source : Innamaa et al. 2014

Pour ce qui est des circonstances de l'accident, il existe un lien entre l'absence d'éclairage sur rue (lampadaire) la nuit et une gravité de blessure plus élevée pour le cycliste. Une des hypothèses retenues pour expliquer cela est que la visibilité est réduite comparativement au jour, ce qui fait en sorte que la manœuvrabilité est plus restreinte et le temps de réaction est plus lent, autant pour l'automobiliste que pour le cycliste (Bil et al. 2010; Boufous et al. 2012; Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; Yan et al. 2011). Ainsi, le choc de la collision est souvent plus violent.

Tout comme l'éclairage, la présence d'une courbe réduit la visibilité et la manœuvrabilité, autant pour l'automobiliste que pour le cycliste, ce qui en fait un facteur de risque supplémentaire (Boufous et al. 2012; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; 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, et ainsi des blessures plus graves lors de l'impact (Allen-Munley et al. 2004; Klop et Khattak 1999; Teschke et al. 2012). Dans le même sens, la masse plus importante des véhicules lourds fait en

sorte que la force de l'impact est bien plus grande en comparaison aux voitures (Allen-Munley et al. 2004; Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007; Moore et al. 2011; Yan et al. 2011). 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 l'accident (Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007). De la même manière, la collision frontale résulte aussi plus souvent en des blessures 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, 80 ou 90 km/h (Bil et al. 2010; Boufous et al. 2012; Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007; Yan et al. 2011).

Finalement, les cyclistes plus âgés sont blessés plus sévèrement (Boufous et al. 2012; Chong et al. 2010; Kim et al. 2007), à la fois en raison de leurs conditions médicales préalables (Eluru et al. 2008) et de leur temps de perception et de réaction qui peut être plus lent lors de la collision (Bil et al. 2010; Eluru et al. 2008; Klassen et al. 2014). Toutefois, cette variable d'âge doit être interprétée avec prudence, puisque les classes d'âges utilisés pour définir les personnes âgées ne sont pas les mêmes pour 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), les résultats de Kaplan et al. (2014) démontrent qu'ils sont plus à risque d'être blessés sévèrement.

1.2.3 Les différences entre les facteurs de risque des accidents et la gravité des blessures

Les facteurs de risque des accidents peuvent être différents lorsqu'on tient compte du risque d'accident et de la gravité des blessures. En effet, parmi les facteurs de risque les plus importants pour expliquer la gravité des blessures, seulement la vitesse élevée des véhicules motorisés, la présence d'une intersection avec signalisation et une largeur importante de la voie figurent également parmi les facteurs de risque des accidents en soi. Bil et al. (2010), Boufous et al. (2012), Kaplan et Prato (2013), Kim et al. (2007), Klassen et al. (2014), Klop et Khattak (1999), Johnson (2013), Stone et Broughton (2003); Yan et al. (2011) et Zahabi et al. (2011) s'entendent que ces facteurs augmentent le nombre d'accidents ainsi que la gravité de l'accident.

Les routes artérielles et l'absence d'infrastructures pour les cyclistes sont des facteurs de risque d'accident entre un véhicule motorisé et un cycliste, mais ils ne sont pas associés à la gravité (Dumbaugh et Li 2010; Dumbaugh et al. 2013). De leur côté, l'absence d'éclairage sur rue, une

collision frontale, l'âge élevé du cycliste, l'implication d'un véhicule lourd et la présence d'une courbe ou d'une pente étaient seulement associés à la gravité des blessures qui résultent d'une collision (Chen et al. 2012; Hamann et Peek-Asa 2013; Romanow et al. 2012). Finalement, par rapport au trafic automobile, un faible volume augmente la gravité de la blessure (Klop et Khattak 1999; Allen-Munley et al. 2004), tandis qu'un volume élevé augmente le risque (Hamman et al. 2013; Johnson 2013; Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012; Schepers et al. 2011).

1.3. Les lacunes dans les travaux à ce jour

Bien que certaines variables mentionnées ci-haut soient d'intérêt pour la prévention des accidents de la route impliquant des cyclistes, les travaux existants demeurent peu nombreux, surtout en Amérique du Nord, et la plupart se concentrent uniquement sur le nombre total d'accidents tout simplement, tandis qu'il serait intéressant d'y distinguer les collisions sans blessé et les collisions avec blessé (Dumbaugh et Li 2010; Dumbaugh et al. 2013; Romanow et al. 2012). Pour ce qui est de la gravité, encore moins présente dans la littérature actuelle, elle gagnerait à faire l'objet d'analyses intégrant l'environnement bâti pour y implanter des mesures préventives plus appropriées (Boufous et al. 2012; Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007; Schepers et al. 2011; Thomas et DeRobertis 2013). On sait que l'environnement bâti joue un rôle important sur la gravité des blessures subies par les cyclistes (Zahabi et al. 2011). Ceci fait en sorte que les données existantes ne sont pas très concluantes et quelques fois controversées sur les éléments de l'environnement routier qui ont une influence sur le risque et la gravité des accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé (Kim et al. 2007). De plus, la modélisation des accidents sans blessé et avec blessé séparément est nécessaire, ces deux types d'accidents pouvant avoir des risques distincts (Dumbaugh et al. 2013). En effet, les accidents avec blessé sont beaucoup plus dévastateurs pour les individus et la société que les accidents sans blessé (Thomas et DeRobertis 2013).

Par ailleurs, plusieurs de ces études ont des définitions assez vagues des infrastructures étudiées et ont regroupé des infrastructures présentant possiblement différents risques de blessure (Hamann et Peek-Asa 2013; Kim et al. 2007; Teschke et al. 2012). Allen-Munley et al. (2004), Hamann et Peek-Asa (2013), Kim et al. (2007), Lusk et al. (2011), Yan et al. (2011) et Zahabi et al. (2011) affirment que divers éléments de l'environnement routier doivent être analysés plus en détail : la géométrie des routes, les infrastructures cyclables, la vitesse réelle

des véhicules motorisés (et non seulement la limite de vitesse affichée), la largeur de l'accotement et le nombre de voies.

Ensuite, l'échantillon du nombre d'accidents est souvent petit, donc le pouvoir explicatif est faible (Dumbaugh et al. 2013; Hamann et al. 2013; Schepers et al. 2011; Strauss et al. 2013). Un petit échantillon limite considérablement le nombre de variables qui peuvent être intégrées dans un modèle statistique (Schepers et al. 2011). Ces faibles nombres d'accidents, habituellement répertoriés dans les rapports policiers, mettent en lumière une lacune propre aux accidents de cyclistes : une certaine sous-représentation des accidents sans blessure ou blessure légère et avec dommage matériel mineur (Allen-Munley et al. 2004; Bil et al. 2010; Eluru et al. 2008; Hamann et Peek-Asa 2013; Klop et Khattak 1999; Yan et al. 2011). En effet, on spécule que la majorité de ces accidents ne sont pas signalés à la police. Les accidents répertoriés dans le cadre de ces rapports sont donc généralement plus graves. Les données provenant des hôpitaux devraient aussi être utilisées pour une représentation plus complète des divers types d'accidents (Bil et al. 2010).

Par ailleurs, l'intégration de données sur le volume de trafic des véhicules motorisés et des cyclistes permettrait de rendre les analyses plus exhaustives (Chong et al. 2010; Dumbaugh et Li 2010; Dumbaugh et al. 2013; Eluru et al. 2008; Haileyesus et al. 2007; Hamann et Peek-Asa 2013; Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012; Strauss et al. 2013; Yan et al. 2011; Zahabi et al. 2011). Toutefois, ces données sont rarement fiables ou ne sont souvent pas disponibles, alors la plupart des études ne les intègrent pas (Hamann et Peek-Asa 2013; Kim et al. 2007).

Finalement, il semble que la littérature existante se soit surtout concentrée sur les régions urbaines les plus densément peuplées tandis que les villes régionales où la part modale du vélo est plus faible ont reçu guère d'attention (Hamann et Peek-Asa 2013; Klop et Khattak 1999; Loo et Tsui 2010; Vandenbulcke et al. 2014). Toutefois, comme le mentionnent Amsden et Huber (2006), Fortier (2009), Larose (2011), Meuleners et al. (2007) et Vandenbulcke et al. (2009), les cyclistes qui circulent en milieu périurbain et rural ont un risque beaucoup plus élevé d'être impliqués dans un accident avec un véhicule motorisé et d'être hospitalisés, ce qui laisse supposer que le niveau de gravité des blessures subies est plus sévère. 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 d'accident, mais aussi la gravité des blessures. Il est probable que les caractéristiques des accidents soient différentes dans ces milieux comparativement aux régions urbaines plus densément peuplées

(Loo et Tsui 2010). On sait déjà qu'il existe des différences quant aux politiques et au design de l'environnement routier entre les milieux urbains, périurbains et ruraux et que ces dernières peuvent avoir un impact sur la fréquence et la gravité des accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé (Moore et al. 2011). Des études plus approfondies sont donc nécessaires pour comparer les différents types d'infrastructures et recommander l'approche préventive la plus efficace en fonction de divers contextes (Hamann et Peek-Asa 2013).

1.4. Objectif, question et hypothèse de recherche

L'objectif général de ce mémoire est de documenter les facteurs de risque reliés à l'environnement routier pour les accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé dans un milieu régional moins dense (la MRC d'Arthabaska), incluant une ville de plus grande importance (Victoriaville) et des villages aux alentours. Le mémoire s'articule donc autour de la question suivante : quels sont les facteurs de risque de l'environnement routier pour expliquer les blessés cyclistes résultant d'un accident avec un véhicule motorisé dans un milieu urbain faiblement densifié ? Pour répondre à cette question, nous proposons une analyse en deux temps :

- Premièrement, nous explorerons la distribution spatiale des accidents dans ce type de territoire (points chauds, regroupements spatiaux).
- Deuxièmement, nous proposons de modéliser statistiquement les éléments de l'environnement routier pour mieux comprendre ce qui influence le risque d'accident en général ainsi que le risque de blessure.

Si l'on considère qu'une grande part des études analysant les accidents entre les véhicules motorisés et les cyclistes ont été réalisées en tenant compte que de la fréquence et du taux d'accident, on peut émettre l'hypothèse qu'une étude qui tient aussi compte du risque de blessure va nous permettre d'améliorer notre compréhension du phénomène ainsi que notre capacité d'intervention. On sait que les éléments de l'environnement routier peuvent jouer un rôle important sur le risque d'accident et que ce rôle peut être différent sur le risque de blessure des cyclistes, une distinction qu'il est important de considérer.

CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE

Dans ce second chapitre, nous présentons le terrain d'étude, les données, de même que les diverses méthodes d'analyse spatiale et statistique utilisées pour analyser les données d'accident. Ces méthodes incluent le Kernel Density Estimation et les statistiques de balayage de Kulldorff pour détecter les points chauds et les regroupements spatiaux d'accidents ainsi que la régression de Poisson et la régression logistique pour identifier les facteurs de risque influençant l'occurrence d'accidents et la gravité des blessures à l'aide de modèles prédictifs.

2.1 Terrain d'étude

Le territoire d'étude couvre la Municipalité régionale de comté (MRC) d'Arthabaska, situé dans la région du Centre-du-Québec et localisé à environ 150 km de Montréal vers l'ouest et la même distance de Québec vers l'est. Cette MRC inclut 23 municipalités avec une population totale d'un peu plus de 70 000 habitants, dont 40 000 à Victoriaville, le pôle régional d'emploi et de destinations (Figure 2.1). Parmi les 23 municipalités, 11 ont moins de 1 000 habitants, 8 ont entre 1 000 et 2 000 habitants et 3 ont plus de 2 000 habitants. Le territoire de la MRC a des usages très diversifiés. En effet, la ville de Victoriaville est caractérisée par un milieu urbain assez dense, les nombreuses petites municipalités présentent des milieux bâtis de petits villages (Warwick, Kingsey Falls) et une grande part du territoire est aussi dédiée à d'importantes exploitations agricoles. La Route Verte (une infrastructure cyclable) est un élément important qui traverse la MRC en passant par le centre-ville de Victoriaville. Le choix de cette MRC en particulier provient du fait qu'il s'agit d'un milieu très diversifié et que les données sont facilement accessibles et de bonne qualité.

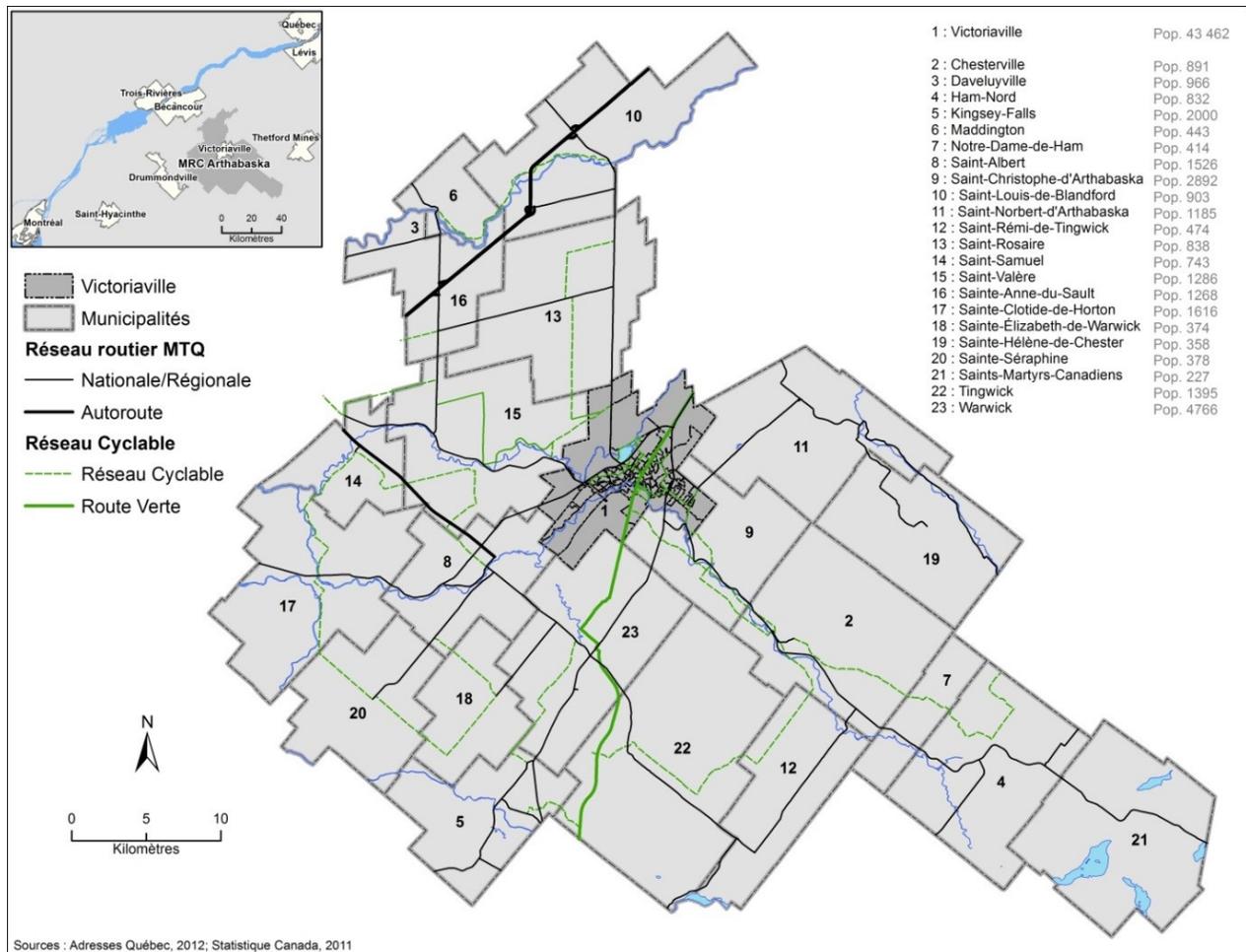


Figure 2.1 : Le territoire d'étude – MRC d'Arthabaska

Source : Auteur

2.2 Données

La base de données utilisée dans le cadre de ce mémoire provient d'un projet-pilote de diagnostic de sécurité routière du réseau municipal québécois (Saunier et al. 2015). Elle inclut les informations sur les accidents spatialisés, le réseau routier (incluant les pistes cyclables) et plusieurs données complémentaires. Les couches d'informations spatiales retenues ont été intégrées par l'équipe de recherche à partir de différentes sources de données (Tableau 2.1). Les fournisseurs de ces données sont nombreux : Adresses Québec, Ministère des Transports du Québec (MTQ), Statistique Canada, Agence de géomatique du Centre-du-Québec, Service de géomatique de la MRC Arthabaska, Ville de Victoriaville et Sûreté du Québec. Les variables explicatives ressortant de la littérature sont toutes présentes dans cette base de données.

Tableau 2.1 : Liste des données intégrées dans la base de données spatiale du projet « Arthabaska »

Données d'origine	Source	Attributs utilisés
Hiérarchie du réseau routier	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 sont reliées aux routes collectrices ou aux artères. Les carrefours sont gérés par des arrêts. • 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	<i>Données collectées sur le terrain</i>	Débit journalier moyen annuel (DJMA) estimé
Accidents (2007-2011)	MTQ	<p><i>Caractéristiques de l'accident</i> : gravité, type d'impact, intersection (oui/non), coordonnées x/y</p> <p><i>Caractéristiques du véhicule</i> : type de véhicule, incluant les piétons et les cyclistes</p> <p><i>Caractéristiques des victimes</i> : âge</p>
Environnement routier	<i>Données collectées sur le terrain</i>	<i>Tronçons</i> : pente, courbe, éclairage (jour/nuit)
Occupation du sol	MRC	<i>Type d'occupation du sol</i> : résidentiel, affaires, commercial, rural
Recensement de la population de 2006	Statistiques Canada	Population totale (par municipalité)
Autres infrastructures routières	MRC	<i>Infrastructures cyclables</i> : piste cyclable, bande cyclable, voies partagées, traverse de rue

Source : Adapté de Rondier, P. et al. 2015

La base de données du réseau routier d'Adresses Québec (AQ-géobâti) est riche d'informations et d'excellente qualité (Saunier et al. 2013b) :

« Cette base regroupe les données sur le tracé du réseau routier dans lesquelles sont intégrés des tranches d'Adresses, les limites administratives et certains éléments de contexte cartographique. Elle est élaborée principalement à partir de la Base de données topographiques du Québec (BDTQ) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), du fichier des territoires de la liste électorale permanente (LEP) du Directeur général des élections (DGE) et du Système d'information géographique d'Élections Québec (SIGEQ) du DGE, de la Base géographique routière (BGR) du MTQ et du rôle d'évaluation foncière spatialisé du Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. » (GéoMont 2011, 15).

La hiérarchie 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 d'accidents sur les routes rurales, le réseau rural constitue la troisième classe et comprend le regroupement des routes suivantes : locale rurale, collectrice municipale, autoroutes, routes nationale et régionale numérotées.

Un des défis reliés à un territoire d'étude aussi vaste consiste à estimer la circulation sur tout le réseau routier, 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 « Arthabaska » a catégorisé les différents segments de route en six sous-groupes (voir Tableau 2.1), 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.

Ensuite, l'équipe a fait des comptages pour un échantillon aléatoire dans chacun des groupes à l'aide d'un formulaire (voir Annexe 2) 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. Les détails méthodologiques de cette estimation se retrouvent dans Saunier et al. (2015).

Quant aux données d'accidents, elles découlent de l'application du système Diagnostic de sécurité routière (DSR) du MTQ :

« Le DSR [...] compile l'ensemble des accidents provenant de la SAAQ, lesquels sont répertoriés à partir des rapports de police. Il contient l'ensemble des données descriptives des accidents, ce qui permet de localiser chacun d'entre eux. Cette localisation est effectuée soit manuellement, en utilisant des données telles qu'une distance de l'intersection ou une série de repères, soit par l'intermédiaire d'un géocodage basé sur l'adresse du lieu d'accident. » (GéoMont 2011, 18)

Il existe cinq sous-catégories de gravité des blessures pour ces données d'accident : matériel mineur, matériel majeur, accident léger, accident grave et accident mortel (Tableau 2.2). Toutefois, notre échantillon d'accidents étant peu élevé (seulement trois accidents graves et quatre accidents mortels sur un total de 137), un regroupement de certains niveaux de gravité a été nécessaire. Les accidents avec dommage « matériel mineur » et « matériel majeur » ont été regroupés, ainsi que ceux avec un ou des blessés « légers », « graves » et « mortels ».

Tableau 2.2 : La gravité d'un accident impliquant un véhicule motorisé définie par la Société d'assurance automobile du Québec (SAAQ)

Type de gravité	Description
Matériel mineur	L'évaluation sommaire de tous les dommages matériels causés lors de l'accident est de 2 000 \$ 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 l'accident est plus de 2 000 \$. Cette évaluation est basée sur l'opinion de l'agent de la paix.
Accident léger	L'accident a eu des victimes avec des blessures légères. Une blessure légère ne nécessite pas une hospitalisation.
Accident grave	L'accident a eu des victimes avec des blessures graves. Une blessure grave nécessite une hospitalisation.
Accident mortel	L'accident a eu des victimes qui sont décédées.

Source : Adapté de SAAQ (2009)

À l'aide du système de gestion de base de données Access, une base de données complémentaires a aussi été produite avec l'objectif de décrire les caractéristiques des tronçons. Ces données complémentaires ont été compilées sur le terrain à l'aide de formulaires (voir Annexe 1) et aussi avec les outils Google Maps et l'extension StreetView.

2.3 Méthodes d'analyse

Dans le cadre de ce mémoire, quatre méthodes seront utilisées pour analyser les données, en ayant recours aux systèmes d'informations géographiques et à l'analyse spatiale et statistique : le Kernel Density Estimation, les statistiques de balayage de Kulldorff la régression de Poisson et la régression logistique. Les deux premières méthodes vont permettre d'identifier les points chauds et les regroupements spatiaux d'accidents dans la MRC tandis que les deux dernières vont permettre de déterminer les facteurs de risque influençant l'occurrence d'accidents et la gravité des blessures.

2.3.1 Détection de points chauds et de regroupements spatiaux

Les premières analyses du présent mémoire seront surtout de nature descriptive en recourant aux SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) et à l'analyse spatiale. Les SIG sont très utilisés pour l'analyse spatiale en sécurité routière, puisqu'ils permettent de relier un nombre important de couches de données pour ainsi estimer les risques d'accident de différentes localisations (Anderson 2009; Pulugurtha et al. 2007). Le logiciel SIG utilisé sera ArcGIS (ESRI, 2015). Pour cette première section, les deux méthodes décrites ci-dessous seront utilisées.

2.3.1.1 Kernel Density Estimation (KDE)

L'identification des agrégats spatiaux consiste à montrer les concentrations d'un semis de points (dans ce cas-ci, des accidents) dans un espace donné (Anderson 2009). Elle est particulièrement pertinente, puisqu'elle permet de soustraire l'une des informations les plus importantes pour l'analyse des accidents de la circulation, soit la localisation des sites les plus problématiques (points chauds) (Erdogan et al. 2008). Cela permet de cibler des endroits spécifiques pour intervenir plus efficacement sur les problèmes de sécurité routière (Anderson 2009; Pulugurtha et al. 2007). Selon Anderson (2009), l'avantage principal du KDE est que cette méthode détermine une zone tampon (« buffer »), cette dernière étant une zone à risque plus élevée entourant un cluster d'accidents.

La méthode d'estimation à partir de kernels (KDE : Kernel Density Estimation dans ArcGIS) se fait à partir d'une maille régulière. Pour la réaliser, il s'agit tout d'abord de juxtaposer une grille de cellules sur l'espace d'étude. Ici, une grille de cellule contenant des pixels de 2,5 mètres de côté a été appliquée. Ensuite, une zone de recherche de 250 mètres de rayon a été juxtaposée pour pouvoir y calculer le nombre de points présents, et ce, pour chaque cellule (Figure 2.2). Une distance de 500 mètres a également été testée. Le choix d'une distance de 250 mètres est justifié par le fait que les accidents sont surtout localisés dans la municipalité de Victoriaville et la taille tout de même peu élevée de cette municipalité. Cette distance permet de maximiser la détection de zones bien distinctes et bien définies dans l'espace.

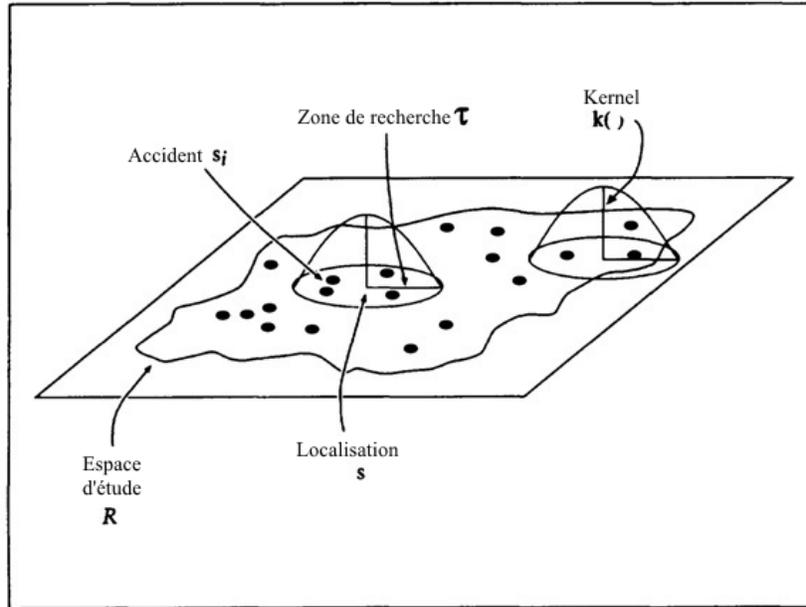


Figure 2.2 : Diagramme expliquant le KDE

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

La densité est estimée pour chacun des pixels à l'aide de la fonction kernel (équation 2.1), qui accorde une pondération à chacun des points compris dans la zone de recherche en fonction de la distance du centre du rayon. 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 accidents.

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

$f(x,y)$ = estimation de la densité pour le point j localisé en (x,y) (équation 2.1)

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

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

k = fonction *kernel*

Source : Adapté de Fotheringham et Rogerson (2009)

2.3.1.2 Les statistiques de balayage de Kulldorff

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). Cette méthode est proposée pour analyser des données de points (Song et Kulldorff 2003). Elle est différente de la méthode KDE, car elle identifie les endroits où il y a un surrisque d'accident par rapport à une population à risque, et non une simple concentration spatiale de points. L'intérêt du balayage de Kulldorff comme c'est le cas pour le KDE, provient du fait qu'il sera possible de cibler les endroits où une intervention devrait être priorisée (Dai 2012). Par comparaison aux autres méthodes pour identifier les agrégats spatiaux, celle-ci est particulièrement efficace pour les milieux plus ruraux. En effet, elle est la plus performante pour identifier les agrégats dans ces milieux selon une comparaison de plusieurs méthodes par Song et Kulldorff (2003), ce qui est un avantage notable considérant que le territoire d'étude de ce mémoire est une MRC faiblement densifiée.

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 2.3). Dans le cas présent, la population à risque est représentée par le trafic de véhicule géoréférencé par aire de diffusion, mesurée par les DJMA. 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. Les centroïdes des aires de diffusion (AD) ont été choisis comme point d'ancrage spatial pour le balayage. Dans le cas présent, la population à risque devrait représenter les cyclistes qui circulent dans le réseau routier. Par contre, comme nous n'avons pas de données fiables sur cette population, nous proposons ici de prendre le trafic automobile (DJMA) comme population à risque puisqu'il a été démontré que le risque de façon générale augmente avec le trafic (voir Figure 1.2).

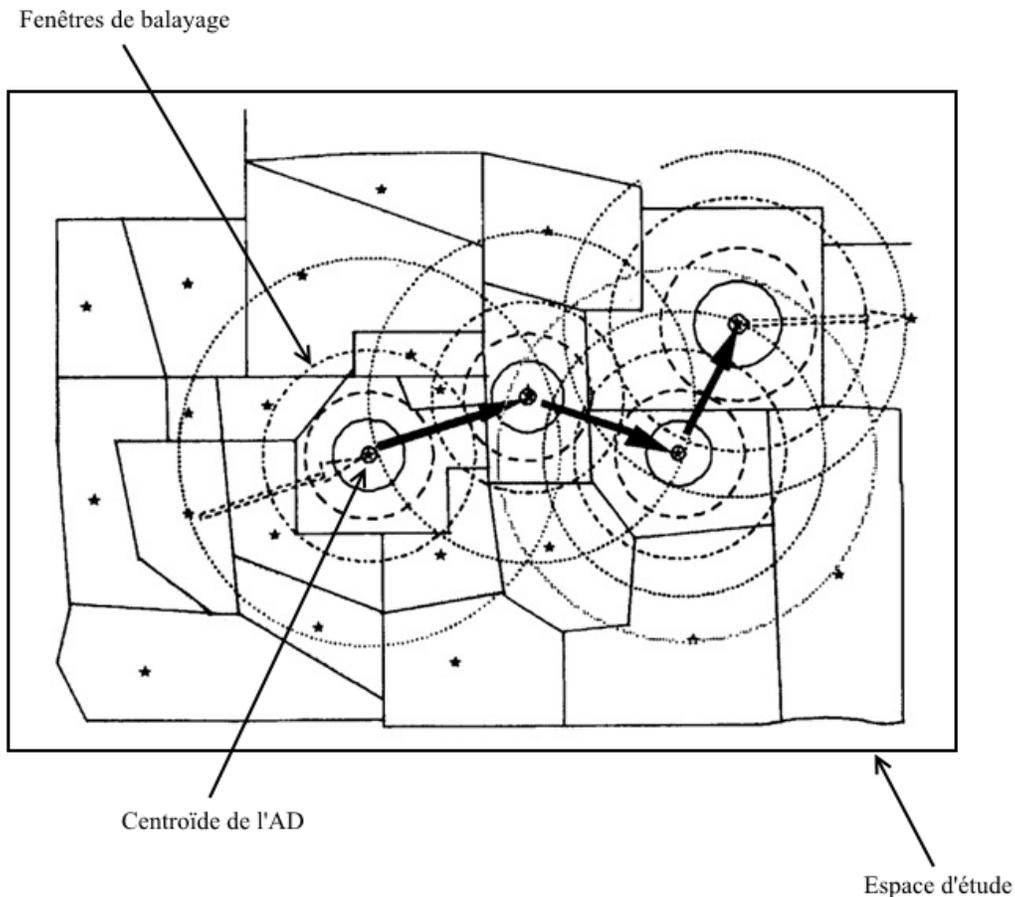


Figure 2.3 : Les fenêtres de balayage du Kulldorff

Source : Adapté de Hjalms et al. (1996)

Il s'agit donc ici de vérifier l'hypothèse stipulant que le taux d'incidence des accidents 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 2.2) 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 kernels, 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, en tenant compte d'une certaine mesure d'exposition, c'est-à-dire ici le trafic véhiculaire.

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

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

(équation 2.2)

c = nombre d'accident observé dans la fenêtre de balayage

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

Source : Adapté de Kulldorff (1997)

2.3.1.3 Limite de l'identification des agrégats spatiaux

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 avec ces méthodes de points chauds (Morency et Cloutier 2006). En effet, ce type de méthode se concentre seulement sur une faible proportion des accidents totaux, donc une réduction substantielle du nombre d'accidents est invraisemblable si on agit uniquement sur ces sites. 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, Morency et Cloutier (2006) ont trouvé dans leur étude que 25% de toutes les intersections étaient le site d'au moins une collision. Le fait de cibler seulement les points chauds n'aurait pas permis d'identifier une telle problématique importante.

Cette limite importante nous oblige d'avoir également recours à des méthodes de modélisation statistique (voir section suivante). Ces méthodes permettent d'exploiter toutes les informations disponibles sur un ensemble de données pour ainsi prédire le risque d'accident et de blessure pour tout le territoire à l'étude (Vandenbulcke et al. 2014).

2.3.2 Modèles prédictifs des accidents et de la gravité

Une fois l'analyse spatiale des agrégats d'accident effectuée, deux modèles prédictifs ont été calculés. Tout d'abord, les statistiques descriptives ont été compilées en lien avec les caractéristiques des cyclistes, des accidents et de l'environnement bâti. Par la suite, un premier modèle statistique déterminera la fréquence d'accidents estimée ayant lieu sur les tronçons du réseau routier de la MRC en fonction des éléments de l'environnement routier. Finalement, un deuxième modèle statistique déterminera lesquels des éléments de l'environnement routier

influencent le plus la probabilité qu'il y ait un blessé cycliste ou non lors d'un accident. Une base de données distincte a été utilisée pour chacun des modèles. Le logiciel SAS a été utilisé pour réaliser les deux modèles.

2.3.2.1 Modèle prédictif des accidents

Une régression de Poisson définit une équation pour prédire la probabilité qu'un phénomène y suive une distribution de Poisson. La régression de Poisson est surtout utilisée pour analyser les données de fréquences, de comptage ou du nombre d'occurrences, comme le nombre d'accidents. Plus précisément, un modèle de Poisson avec une surreprésentation de la valeur 0 (zero-inflated) (équation 2.3) sera appliqué en raison du grand nombre de tronçons n'ayant pas d'accidents et des petits effectifs associés aux données d'accidents (Chen et al. 2012; Dumbaugh et Li 2011; Dumbaugh et al. 2013; Kim et al. 2012). Cette première analyse statistique utilise une base de données où l'unité d'analyse est les tronçons (polylignes)¹, pour lesquels on a un nombre d'accidents pour chacun de ces tronçons. La fréquence d'accident sera utilisée dans ce modèle pour l'analyse, en divisant le nombre d'accidents par la longueur du tronçon, car les tronçons sur le réseau routier n'ont pas tous la même longueur. Au préalable, des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées, pour plusieurs variables explicatives disponibles dans la base de données dans l'objectif de choisir lesquelles seraient intégrées dans le modèle (Tableau 2.3).

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

A = constante

(équation 2.3)

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 Tutz (2012)

¹ Le nombre total de tronçons dans la base de données est de 3943.

Tableau 2.3 : Variables disponibles dans la base de données pour le modèle prédictif des accidents

Variable Y	Modalité
Fréquence d'accident par tronçon (nombre d'accidents par tronçon/longueur du tronçon)	<ul style="list-style-type: none"> • Fréquence
Variable X	Modalité
Limite de vitesse affichée	<ul style="list-style-type: none"> • 50 km/h et moins • 70 km/h et plus
Type de route	<ul style="list-style-type: none"> • 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 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. • Réseau rural : inclut nationale, régionale, transit rural, collectrice nationale, autoroute, locale rurale.
Nombre de voies	<ul style="list-style-type: none"> • 2 • 4
Localisation de l'accident à une intersection	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non
Présence d'infrastructure cyclable	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non
Accident dans la municipalité de Victoriaville	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non
Débit de circulation de véhicule motorisé	<ul style="list-style-type: none"> • DJMA (Débit Journalier Moyen Annuel)

Source : Auteur

2.3.2.2 Modèle prédictif des accidents avec blessure

La régression logistique permet de prédire la probabilité qu'un phénomène ait lieu en fonction des valeurs de plusieurs variables indépendantes, ainsi que d'évaluer l'importance de ces variables sur le phénomène (équation 2.4). Une régression logistique est la méthode la plus appropriée pour ce deuxième modèle, car, contrairement aux données sur la fréquence d'accident, les données sur la gravité des accidents sont dichotomiques (Carson et Mannering 2001). Cette deuxième analyse statistique utilise une base de données où l'unité d'analyse est

les accidents (points)², pour lesquels on a des caractéristiques de l'environnement routier à l'emplacement de chacun de ces accidents. Le modèle analysera la localisation des accidents résultants d'une collision entre un véhicule motorisé et un cycliste selon s'il y a 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 dans l'objectif de choisir lesquelles seraient intégrées dans le modèle (Tableau 2.4).

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

A = constante

(équation 2.4)

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)

² Le nombre total d'accidents dans la base de données est de 137.

Tableau 2.4 : Variables disponibles dans la base de données pour le modèle prédictif des accidents avec blessure

Variable Y	Modalité
Gravité de l'accident	<ul style="list-style-type: none"> • 0 : Accident avec aucun blessé (matériel mineur et majeur) • 1 : Accident avec blessé (léger, grave et mortel)
Variable X	Modalité
Limite de vitesse affichée	<ul style="list-style-type: none"> • 50 km/h et moins • 70 km/h et plus
Type de route	<ul style="list-style-type: none"> • 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 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. • Réseau rural : inclus nationale, régionale, transit rural, collectrice nationale, autoroute, locale rurale.
Nombre de voies	<ul style="list-style-type: none"> • 2 • 4
Localisation de l'accident à une intersection	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non
Présence d'infrastructure cyclable	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non
Accident dans la municipalité de Victoriaville	<ul style="list-style-type: none"> • Victoriaville • Hors Victoriaville
Débit de circulation de véhicule motorisé	<ul style="list-style-type: none"> • DJMA (Débit Journalier Moyen Annuel)
Éclairage	<ul style="list-style-type: none"> • Jour : jour-clarté, jour-demi-obscurité • Nuit : nuit-chemin éclairé, nuit-chemin non éclairé
Type de véhicule impliqué	<ul style="list-style-type: none"> • Véhicule léger : auto/camion léger, motocyclette, cyclomoteur, VR, VTT, motoneige, véhicule loisirs • Véhicule lourd : camion, autobus scolaire, autobus, minibus, tracteur routier, véhicule d'urgence, véhicule équipement, véhicule-outils
Présence d'une pente (descendante ou ascendante)	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non
Présence d'une courbe	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non
Affectation du territoire	<ul style="list-style-type: none"> • Résidentiel/Affaires/commercial • Rural
Type d'impact	<ul style="list-style-type: none"> • Latéral • Autres : arrière, changement de voie, frontal, gauche opposant, virages
Âge du cycliste	<ul style="list-style-type: none"> • 15 ans et moins • 16-34 ans • 35-64 ans • 65 ans et plus

Source : Auteur

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS : ENVIRONNEMENT ROUTIER ET BLESSÉS CYCLISTES RÉSULTANT D'UN ACCIDENT AVEC UN VÉHICULE : QUELS FACTEURS DE RISQUE DANS UN MILIEU URBAIN FAIBLEMENT DENSIFIÉ ?

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 font un choix privilégié comme activité de loisir ou comme mode de transport, bien que sa pratique demeure moins élevée qu'en Europe (Bassett et al. 2008). Dans ce contexte, plusieurs mesures sont maintenant implantées 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 (Larose 2011). 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 environ 10 accidents sur 1000 sont fatals, peu importe le milieu environnant, urbain ou rural. En comparaison, dans les cas où un cycliste fait une chute, mais qu'un véhicule motorisé n'est pas impliqué, 50 cyclistes sur 1000 doivent être hospitalisés et moins d'un accident sur 1000 est fatal (Coulombe 2011).

Par ailleurs, ce risque accru pour tous les cyclistes lors d'une collision semble 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 sont encore moins sécuritaires (Bil et al. 2010; Biret et al. 2004; Yan et al. 2011). Selon Fortier et al. (2009) et Larose et al. (2011), 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, augmentant par le fait même le risque de décès.

3.1 Sécurité et cyclistes sur la route

Lorsqu'il est question de sécurité pour les cyclistes, les travaux scientifiques s'intéressent à deux volets en particulier, en même temps ou séparément : le risque d'accident de la route en soi et la gravité des blessures en résultant (Figure 3.1). Il est important de bien comprendre

comment l'environnement routier peut contribuer à la sécurité routière des cyclistes, car l'amélioration de cet environnement permettrait possiblement de réduire le risque d'accident et la gravité des blessures pour les usagers vulnérables de plus en plus nombreux que sont les cyclistes (Reynolds et al. 2009).

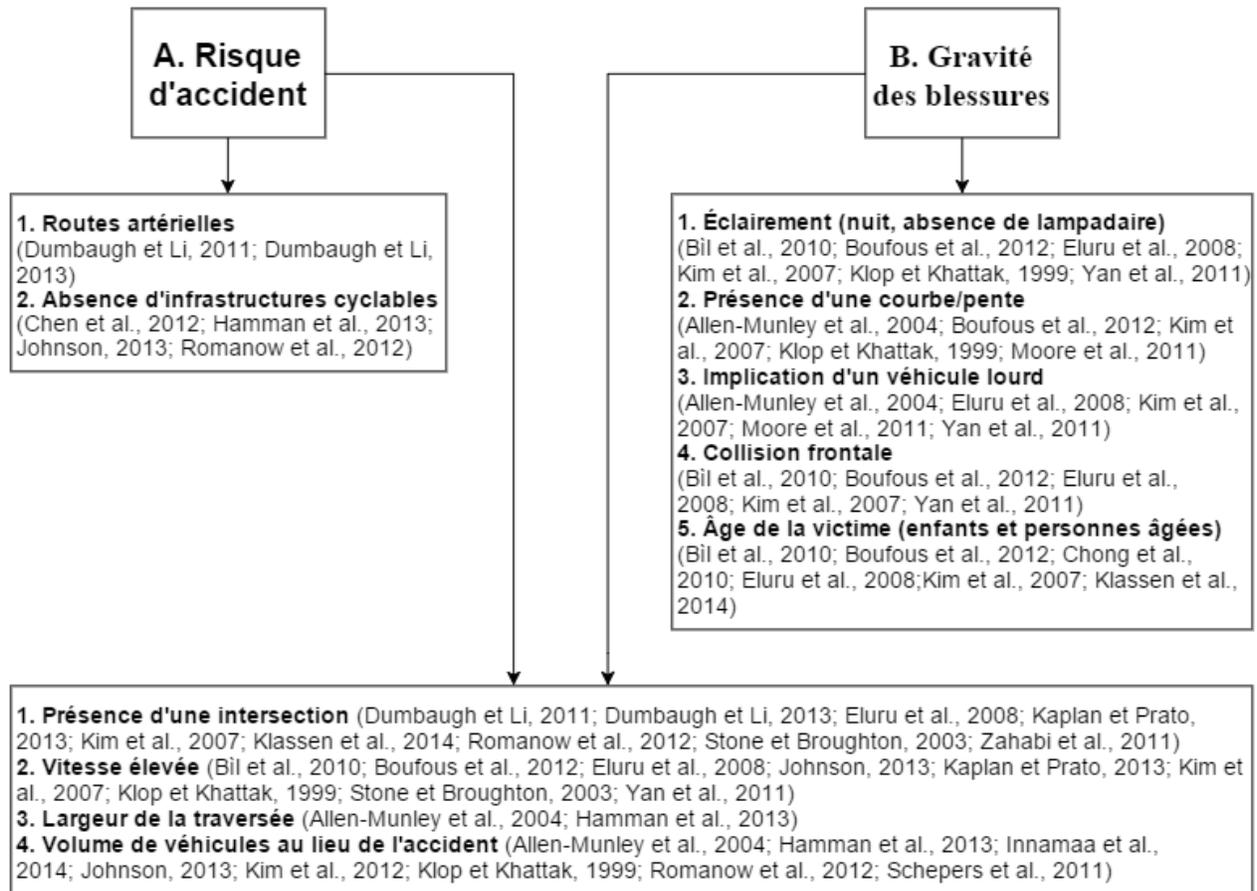


Figure 3.1 : Les facteurs de risque des accidents entre un véhicule et un cycliste

Source : Auteur

Les caractéristiques de l'environnement routier tel la hiérarchie routière (rues locales ou artères) et les infrastructures de transport spécifique (piste cyclable) sont les premiers éléments à l'étude lorsqu'il est question de risque d'accident. De même, les travaux sur la gravité des blessures aux cyclistes impliqués dans une collision avec un véhicule s'intéressent aux différents éléments de l'environnement routier, mais vont aussi explorer les circonstances de l'accident et les caractéristiques des victimes : l'éclairage (jour/nuit, lampadaire), la présence d'une courbe et d'une pente, l'implication d'un véhicule lourd, le type de collision et l'âge de la victime. Par ailleurs, un dernier sous-groupe de facteurs de risque est reconnu pour augmenter à la fois le risque d'accident et la gravité des blessures et ils regroupent essentiellement des

caractéristiques de l'environnement routier au lieu de l'accident : la présence d'une intersection, la vitesse permise, la largeur de la traversée (pour les accidents aux intersections) et le volume de véhicules.

3.1.1 Le risque d'accident de la route impliquant un cycliste

Dumbaugh et Li (2011) et Dumbaugh et al. (2013) ont démontré que les routes artérielles sont un facteur de risque très important dans les collisions impliquant un cycliste. Ce type de route est aménagé de façon à favoriser la fluidité des automobiles en raison d'un nombre de voies élevé et d'une largeur de la chaussée plus importante. De plus, lorsqu'en milieu plus dense, ces routes artérielles croisent fréquemment des rues locales et commerciales, créant ainsi des lieux de conflits potentiels en plus grand nombre (Dumbaugh et Li 2011). Ces configurations ont pour conséquence une réduction du champ de vision des automobilistes et une augmentation de la distance de freinage en raison des vitesses pratiquées plus élevées, ce qui vient augmenter le risque de collision en présence d'un cycliste (Dumbaugh et Li 2011; Dumbaugh et al. 2013).

Les travaux récents ont démontré que l'existence d'infrastructures cyclables réduit le risque de collision entre un cycliste et un véhicule motorisé (Chen et al. 2012; Hamman et al. 2013; Romanow et al. 2012; Thomas et DeRobertis 2013). La présence de ces infrastructures amène les automobilistes à réduire leur vitesse puisque les cyclistes y sont plus visibles ou encore en plus grand nombre qu'ailleurs (Chen et al. 2012). Jacobsen (2003) a d'ailleurs testé l'hypothèse de l'effet protecteur du nombre élevé de cyclistes : ses résultats ont démontré 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 d'accident de certains endroits tandis que l'effet inverse (le nombre élevé de cycliste augmenterait le risque) a été exploré dans d'autres travaux sur la présence d'infrastructures cyclables (Johnson 2013). Hamman et al. (2013) et Chen et al. (2012) affirment que la séparation des cyclistes et des automobiles avec du marquage au sol (chaussée désignée, bande cyclable unidirectionnelle) a le potentiel de réduire les conflits 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 le risque d'accident pour le cycliste selon Loo et Tsui (2010) et Lusk et al. (2013). Cela contredit Herslund et Jorgensen (2003), Schepers et al. (2011) et Thomas et DeRobertis (2013). Ces auteurs attestent que les automobilistes se concentrent plutôt à évaluer leur environnement immédiat et moins les

cyclistes qui circulent sur des voies séparées physiquement du trafic automobile, ce qui augmenterait donc le risque de collision aux intersections dû à leur inattention. Cette problématique aux intersections explique pourquoi l'aménagement d'une bande cyclable unidirectionnelle est généralement plus sécuritaire qu'une piste cyclable bidirectionnelle avec une séparation physique du trafic automobile (Thomas et DeRobertis 2013).

3.1.2 La gravité des blessures des cyclistes impliqués

Les travaux actuels ont démontré un lien entre l'absence d'éclairage sur rue (lampadaire) la nuit et une gravité plus élevée pour le cycliste. Une des hypothèses retenues pour expliquer cela est que la visibilité est réduite comparativement au jour, ce qui fait en sorte que la manœuvrabilité est plus restreinte et le temps de réaction est plus lent, autant pour l'automobiliste que pour le cycliste (Bíl et al. 2010; Boufous et al. 2012; Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; Yan et al. 2011). Ainsi, le choc de la collision est souvent plus violent.

Tout comme l'éclairage, la présence d'une courbe réduit la visibilité et la manœuvrabilité, autant pour l'automobiliste que pour le cycliste, ce qui en fait un facteur de risque supplémentaire (Boufous et al. 2012; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; 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, et ainsi des blessures plus graves lors de l'impact (Allen-Munley et al. 2004; Klop et Khattak 1999). Dans le même sens, la masse plus importante des véhicules lourds fait en sorte que la force de l'impact est bien plus grande en comparaison 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 l'accident (Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007). De la même manière, la collision frontale résulte aussi plus souvent en des blessures 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, 80 ou 90 km/h (Bíl et al. 2010; Boufous et al. 2012; Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007; Yan et al. 2011).

Finalement, plusieurs auteurs rappellent que les cyclistes de plus de 50 ans sont blessés plus sévèrement (Boufous et al. 2012; Chong et al. 2010; Kim et al. 2007), à la fois en raison de leurs conditions médicales préalables (Eluru et al. 2008) et de leur temps de perception et de réaction

qui peut être plus lent lors de la collision (Bíl et al. 2010; Eluru et al. 2008; Klassen et al. 2014). Toutefois, cette variable d'âge doit être interprétée avec prudence, puisque les classes d'âges utilisés pour définir les personnes âgées ne sont pas les mêmes pour 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 sont plus à risque d'être blessés sévèrement.

3.1.3 Le risque d'accident et la gravité des blessures

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 portion des accidents dans les travaux recensés ont lieu à proximité d'une intersection (moins de 20 mètres), notamment en raison d'une complexité accrue à ces endroits (nombreuses voies et signalisations) où il y a un plus grand nombre d'interactions et de conflits potentiels entre les véhicules et les vélos (Dumbaugh et Li 2011; Dumbaugh et al. 2013; Kaplan et Prato, 2013; Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012; Siddiqui et al. 2012; Stone et Broughton, 2003; Vandenbulcke et al. 2014). Les résultats sont par ailleurs contradictoires pour l'effet de la présence d'une intersection sur la gravité des blessures. Les résultats de Zahabi et al. (2011) et Klassen et al. (2014) démontrent qu'un accident à une intersection augmente la gravité des blessures, en particulier lorsqu'il y a toute forme de signalisation (panneau ARRÊT, panneau CÉDEZ, feu de circulation). Klassen et al. (2014) font l'hypothèse qu'en présence d'une intersection avec signalisation qui indique la direction et la priorité du trafic, les automobilistes et les cyclistes évalueraient moins leur environnement, ce qui peut mener à un accident dû à un manque de vigilance. À l'opposé, Eluru et al. (2008) affirment que les accidents aux intersections avec signalisation sont moins graves pour la raison inverse : 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 l'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). Selon Mirando-Moreno et al. (2011), 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 le risque d'accident ainsi que le risque de blessure pour les cyclistes (Thomas et DeRobertis 2013).

La vitesse des véhicules motorisés, mesurée via la vitesse permise ou la vitesse réelle, demeure une autre variable importante à la fois pour le risque d'accident et la gravité des blessures. De façon générale, les auteurs s'entendent tous pour affirmer qu'une vitesse élevée équivaut à un impact potentiellement plus fréquent et plus violent entre l'automobiliste et le cycliste, augmentant ainsi le risque d'accident et de blessure (Bíl et al. 2010; Boufous et al. 2012; Eluru et al. 2008; Johnson 2013; Kaplan et Prato, 2013; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; Siddiqui et al. 2012; Vandenbulcke et al. 2014; Yan et al. 2011). L'étude de Stone et Broughton (2003) démontre pour leur part que le risque d'accident augmente graduellement avec l'augmentation de la limite de vitesse.

Il a été démontré qu'un niveau élevé de trafic de véhicules lourds augmente le risque d'accident. En effet, les véhicules lourds sont plus sujets à l'angle mort lorsqu'ils effectuent des virages, ce qui peut limiter 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 en comparaison 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 l'accident (Eluru et al. 2008; Kim et al. 2007).

Puisque la durée d'exposition du cycliste à un conflit potentiel est plus élevée si la chaussée est très large aux intersections, cette caractéristique de la géométrie des rues est reconnue pour augmenter à la fois le risque et la gravité (Hamman et al. 2013). De plus, lorsque la largeur de la voie est plus étroite, 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 lors d'un conflit avec un cycliste (Allen-Munley et al. 2004).

Les travaux s'intéressant au lien entre le volume de trafic et le risque pour les cyclistes obtiennent des conclusions contradictoires. D'un côté, un volume de trafic automobile élevé augmente le risque et la gravité des accidents (Allen-Munley et al. 2004; Hamman et al. 2013; Johnson 2013; Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012; Schepers et al. 2011). Les routes très achalandées sont reconnues pour réduire considérablement la mobilité des cyclistes aux intersections, ce qui augmente l'exposition au risque et la gravité des blessures lors d'une collision (Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012). À l'opposé, Klop et Khattak (1999) affirment qu'un volume élevé réduit la gravité d'un accident 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 possiblement plus prudents lorsque le nombre de véhicules pouvant les heurter est élevé. Innamaa et al. (2014) a démontré que le risque d'accident pour tous les usagers de la route augmente avec le volume de trafic pour ensuite diminuer lorsqu'il y a de la congestion (Figure 3.2). Cela explique possiblement les résultats contradictoires discutés ci-haut.

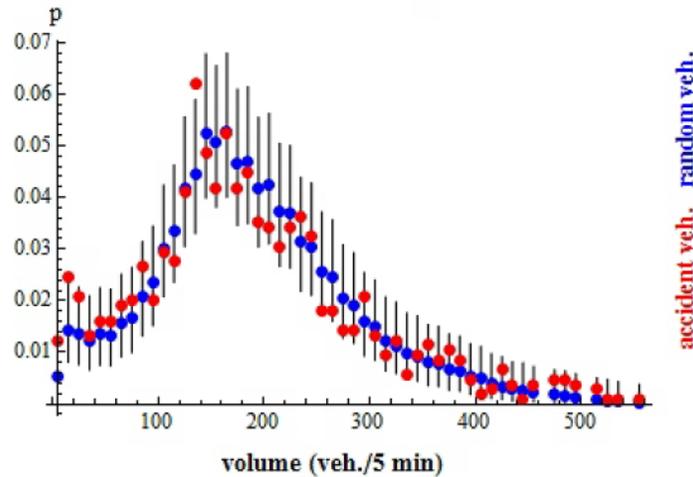


Figure 11. Test of the impact of traffic volumes on road accidents.

Figure 3.2 : Le niveau de risque estimé d'accident par rapport à la densité du trafic de véhicule

Source : Innamaa et al. 2014

3.1.4 Pourquoi étudier le risque et la gravité des accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé dans une ville régionale ?

Bien que certaines variables mentionnées ci-haut soient d'intérêt pour la prévention des accidents de la route impliquant des cyclistes, les travaux existants demeurent peu nombreux, surtout en Amérique du Nord, et la plupart se concentrent uniquement sur le nombre total d'accidents tout simplement, tandis qu'il serait intéressant d'y distinguer les collisions sans blessé et les collisions avec blessé (Dumbaugh et Li 2011; Dumbaugh 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 pour y implanter des mesures préventives plus efficaces selon Boufous et al. (2012), Eluru et al. (2008), Kim et al. (2007), Schepers et al. (2011) et Thomas et DeRobertis (2013). On sait que l'environnement bâti joue

un rôle important sur la gravité des blessures subies par les cyclistes (Zahabi et al. 2011). Finalement, il semble que les recherches existantes se soient surtout concentrées sur les régions urbaines les plus densément peuplées tandis que les villes régionales où la part modale du vélo est plus faible ont reçu guère d'attention (Hamann et Peek-Asa 2013; Klop et Khattak 1999; Loo et Tsui 2010; Vandenbulcke et al. 2014). Toutefois, comme le mentionnent Amsden et Huber (2006), Fortier (2009), Larose (2011), Meuleners et al. (2007) et Vandenbulcke et al. (2009), 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. Il est probable que les caractéristiques de ces accidents soient différentes dans ces milieux comparativement aux régions urbaines plus densément peuplées (Loo et Tsui 2010). 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 d'accident, mais aussi la gravité des blessures.

L'objectif général de la présente étude est de documenter les facteurs de risque reliés à l'environnement routier pour les accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé dans un milieu régional moins dense, incluant bien souvent une ville de plus grande importance et des villages aux alentours. Pour ce faire, nous proposons une analyse en deux temps : premièrement, nous explorerons la distribution spatiale des accidents 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 le risque d'accident impliquant un cycliste en général ainsi que le risque de blessure en milieu périurbain et rural.

3.2 Données et méthodes

3.2.1 Terrain d'étude

Le territoire d'étude couvre la Municipalité régionale de comté (MRC) d'Arthabaska, située dans la région du Centre-du-Québec et localisée à environ 150 km de Montréal vers l'ouest et la même distance de Québec vers l'est. Cette MRC inclut 23 municipalités avec une population totale d'un peu plus de 70 000 habitants, dont 40 000 à Victoriaville, le pôle régional d'emploi et de destinations (Figure 3.3). Le reste du territoire de la MRC a des usages très diversifiés, dont

des noyaux villageois relativement denses (Warwick, Kingsey Falls), des villages de campagne et des exploitations agricoles. La Route Verte (une infrastructure cyclable) est un élément important qui traverse la MRC en passant par le centre-ville de Victoriaville.

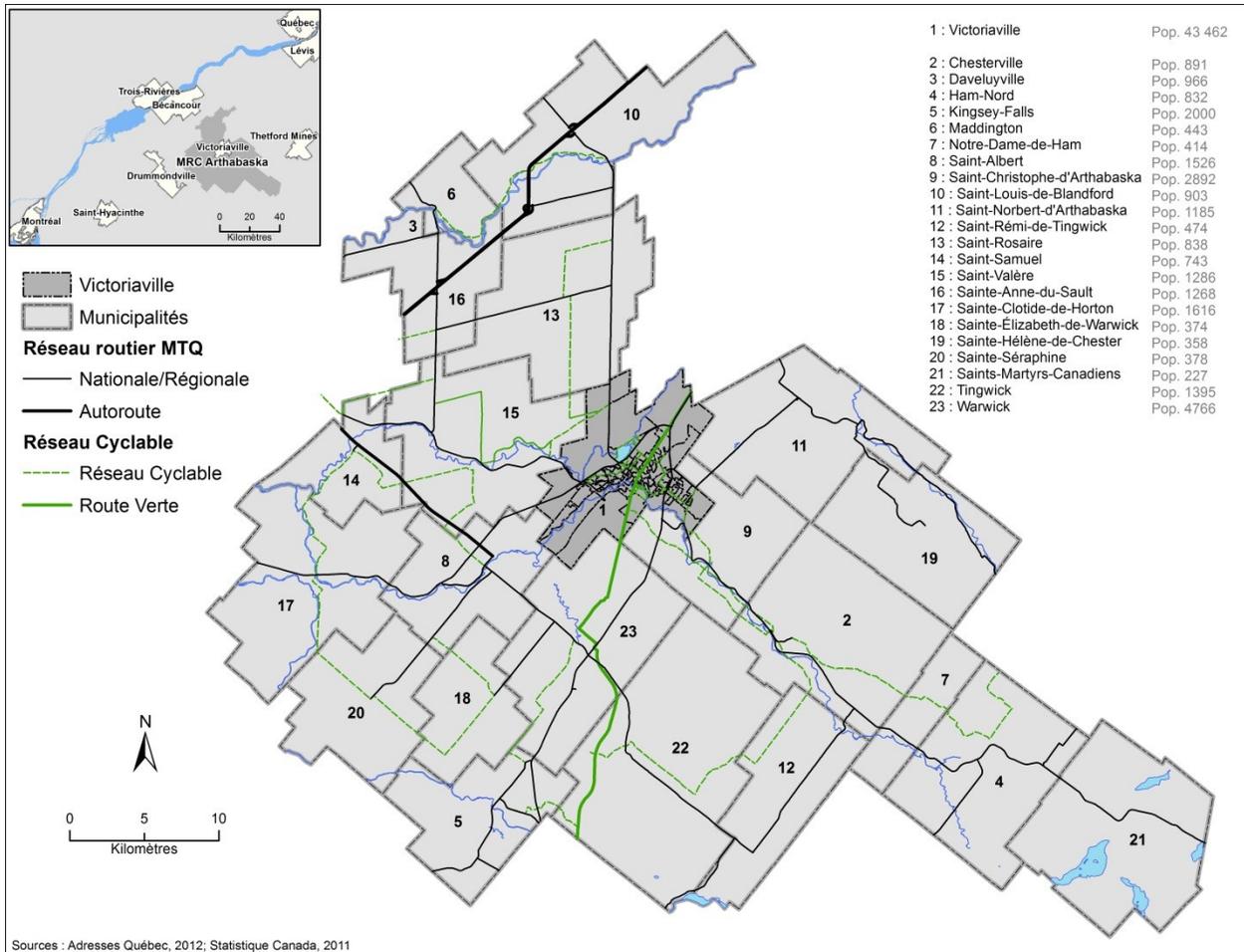


Figure 3.3 : Le territoire d'étude – MRC d'Arthabaska

Source : Auteur

3.2.2 Données

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. 2015). Les couches d'information spatiales retenues ont été intégrées par l'équipe de recherche à partir de différentes sources de données (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Liste des données intégrées dans la base de données spatiale du projet « Arthabaska »

Données d'origine	Source	Attributs utilisés
Hiérarchie du réseau routier	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 sont reliées aux routes collectrices ou aux artères. Les carrefours sont gérés par des arrêts. • 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	<i>Données collectées sur le terrain</i>	Débit journalier moyen annuel (DJMA) estimé
Accidents (2007-2011)	MTQ	<i>Caractéristiques de l'accident</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	<i>Données collectées sur le terrain</i>	<i>Tronçons</i> : pente, courbe, éclairage (jour/nuit)
Occupation du sol	MRC	<i>Type d'occupation du sol</i> : résidentiel, affaires, commercial, rural
Recensement de la population de 2006	Statistiques Canada	Population totale (par municipalité)
Autres infrastructures routières	MRC	<i>Infrastructures cyclables*</i> : piste cyclable, bande cyclable, voies partagées, traverse de rue

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

Source : Adapté de Rondier, P. et al. 2015

La hiérarchie 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 d'accidents sur les routes rurales, le réseau rural constitue la troisième classe et comprend le regroupement des routes suivantes : locale rurale, collectrice municipale, autoroutes, routes nationale et régionale numérotées.

Un des défis reliés à un territoire d'étude aussi vaste consiste à estimer la circulation sur tout le réseau routier, 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 « Arthabaska » a catégorisé les différents segments de route en six sous-groupes (voir Tableau 3.1), 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.

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.

Il est à noter que pour la base de données des accidents, il existe cinq sous-catégories de gravité des blessures : matériel mineur, matériel majeur, accident léger, accident grave et accident mortel (Tableau 3.2). Toutefois, notre échantillon d'accidents graves et mortels étant peu élevé (seulement trois accidents graves et quatre accidents mortels sur un total de 137), un regroupement de certains niveaux de gravité a été nécessaire. Les accidents avec dommage « matériel mineur » et « matériel majeur » ont été regroupés, ainsi que ceux avec un ou des blessés « légers », « graves » et « mortels ». Chaque accident localisé à une intersection et à

20 mètres et moins d'une intersection a été attribué à un tronçon en fonction de la distance au plus près.

Tableau 3.2 : La gravité d'un accident impliquant un véhicule motorisé définie par la Société d'assurance automobile du Québec

Type de gravité	Description
Matériel mineur	L'évaluation sommaire de tous les dommages matériels causés lors de l'accident 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 l'accident est plus de 2 000 \$ CAD. Cette évaluation est basée sur l'opinion de l'agent de la paix.
Accident léger	L'accident a eu des victimes avec des blessures légères. Une blessure légère ne nécessite pas une hospitalisation.
Accident grave	L'accident a eu des victimes avec des blessures graves. Une blessure grave nécessite une hospitalisation.
Accident mortel	L'accident a eu des victimes qui sont décédées.

Source : Adapté de SAAQ (2009)

3.2.3 Analyses

Quatre méthodes seront utilisées pour analyser les données, en ayant recours aux systèmes d'informations géographiques et à l'analyse spatiale et statistique : le 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 d'accidents dans la MRC tandis que les deux dernières vont permettre d'identifier les facteurs de risque influençant l'occurrence d'accidents et la gravité des blessures.

3.2.3.1 Détection de points chauds

L'identification des agrégats spatiaux consiste à montrer les concentrations d'un semis de points (dans ce cas-ci, des accidents) dans un espace donné (Anderson 2009). La méthode d'estimation à partir de *kernels* (KDE : Kernel Density Estimation dans ArcGIS) se fait à partir d'une maille régulière. 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 accidents sont surtout localisés dans la municipalité de Victoriaville et 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 3.4)³.

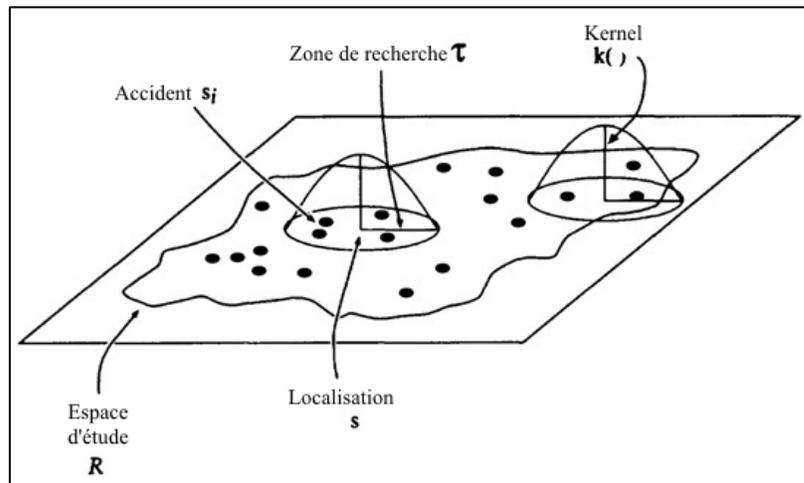


Figure 3.4 : Diagramme expliquant le KDE

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

La densité est estimée pour chacun des pixels à l'aide de la fonction *kernel* (équation 3.1), qui accorde une pondération à chacun des points compris dans la zone de recherche en fonction de la distance au centre du pixel⁴. 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 accidents.

³ Plusieurs tests ont été réalisés sur la taille des pixels et la zone de recherche. 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.

⁴ 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*.

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

$f(x,y)$ = estimation de la densité pour le point j localisé en (x,y) (équation 3.1)

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

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

k = fonction *kernel*

Source : Adapté de Fotheringham et Rogerson (2009)

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 3.5). 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. Par contre, comme nous n'avons pas de données fiables sur cette population, nous proposons ici de prendre le trafic automobile (DJMA) comme population à risque puisqu'il a été démontré que le risque de façon générale augmente avec le trafic (voir Figure 3.2).

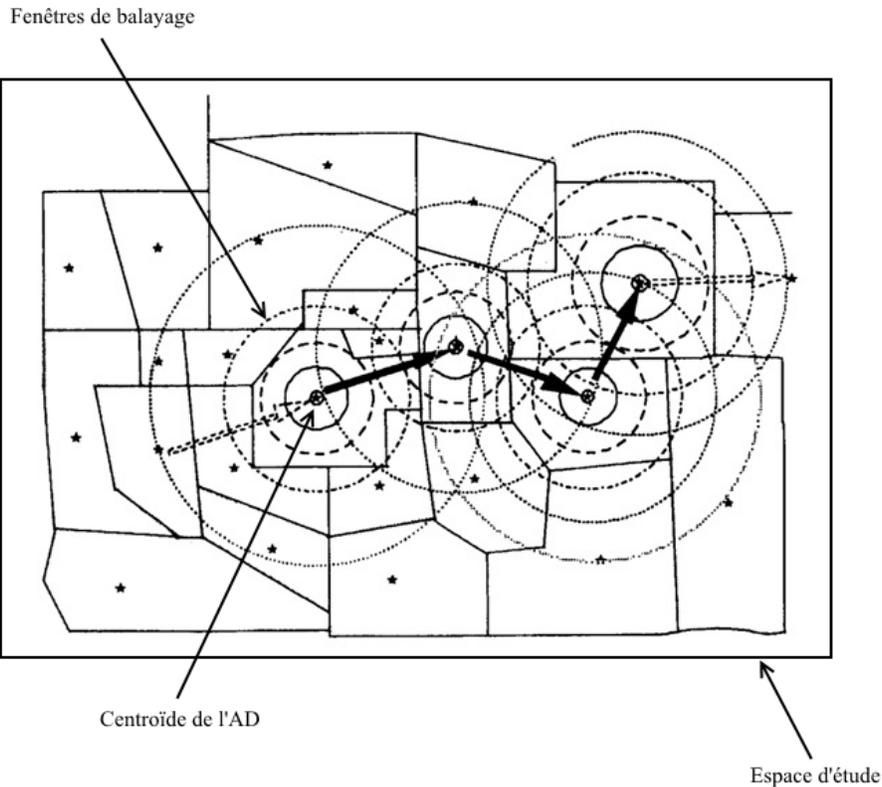


Figure 3.5 : Les fenêtres de balayage du Kulldorff

Source : Adapté de Hjalmar et al. (1996)

Il s'agit donc ici de vérifier l'hypothèse stipulant que le taux d'incidence des accidents 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 3.2) 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 *kernel*s, 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.

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

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

(équation 3.2)

c = nombre d'accident observé dans la fenêtre de balayage

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

Source : Adapté de Kulldorff (1997)

3.2.3.2 Modèles prédictifs des accidents et de la gravité

Une fois l'analyse spatiale des agrégats d'accident effectuée, deux modèles prédictifs seront calculés. Une base de données distincte a été utilisée pour chacun des modèles. Un premier modèle statistique déterminera la fréquence d'accidents estimée ayant lieu sur les tronçons du réseau routier de la MRC en fonction des éléments de l'environnement routier. Plus précisément, un modèle de Poisson avec une surreprésentation de la valeur 0 (*zero-inflated*) (équation 3.3) sera appliqué en raison du grand nombre de tronçons n'ayant pas d'accidents et des petits effectifs associés aux données d'accidents (Chen et al. 2012; Dumbaugh et Li 2011; Dumbaugh et al. 2013; Kim et al. 2012). Cette première analyse statistique utilise une base de données où l'unité d'analyse est les tronçons, pour lesquels on a un nombre d'accidents pour chacun de ces tronçons. La fréquence d'accident sera utilisée dans ce modèle pour l'analyse, en divisant le nombre d'accidents par la longueur du tronçon, car les tronçons sur le réseau routier n'ont pas tous la même longueur. Au préalable, des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées, pour plusieurs variables explicatives disponibles dans la base de données dans l'objectif de choisir lesquelles seraient intégrées dans le modèle.

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

A = constante

(équation 3.3)

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 Tutz (2012)

Un deuxième modèle statistique déterminera lesquels des 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 3.4) est la méthode la plus appropriée pour ce deuxième modèle, car, contrairement aux données sur la fréquence d'accident, les données sur la gravité des accidents sont dichotomiques (Carson et Mannering 2001). Cette deuxième analyse statistique utilise une base de données où l'unité d'analyse est les accidents (points), pour lesquels on a des caractéristiques de l'environnement routier à l'emplacement de chacun de ces accidents. Le modèle analysera donc la localisation des accidents résultants d'une collision entre un véhicule motorisé et un cycliste selon s'il y a 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 dans l'objectif de choisir lesquelles seraient intégrées dans le modèle.

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

A = constante

(équation 3.4)

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)

3.3 Résultats

3.3.1 Analyse descriptive des accidents

Au cours de la période étudiée (2007-2011), il y a eu un total de 137 accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé sur le territoire de la MRC d'Arthabaska (Tableau 3.2). Notre analyse descriptive des accidents démontre que les jeunes cyclistes (15 ans et moins) sont les plus nombreux à être impliqués dans ce type d'accident et la majorité des collisions sont de type latéral. Pour ce qui est de la distribution spatiale des accidents, la plupart d'entre eux ont lieu en milieu urbain (87% à Victoriaville) et aux intersections où il n'y a pas d'infrastructure cyclable. Finalement, la majorité des accidents ont lieu le jour, particulièrement sur les rues locales à seulement deux voies.

Le Tableau 3.2 présente les tests d'ANOVA (nombre d'accidents), les tests de Khi-2 (accidents 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 3.2 : 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 3.2 : Modèle 2). Finalement, pour la variable DJMA, la corrélation entre celle-ci et le nombre d'accidents 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 puisque ce résultat ne suit pas les tendances habituelles, où la corrélation entre le débit de trafic de véhicules et le nombre d'accidents est généralement assez importante et significative.

Tableau 3.2 : Statistiques descriptives des accidents et tests d'ANOVA et de Khi-2

Variables	n	%	Modèle1 : ANOVA F (p)	Accident sans blessé		Accident avec blessé		Modèle2 : Khi-2 (p)
				n	%	n	%	
Total d'accidents	137	100	-	43	31,39	94	68,61	-
<i>Groupe d'âge</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
15 ans et moins	14	10,22	-	1	0,73	13	9,49	5,01 (0,171)
16-34 ans	50	36,50	-	17	12,41	33	24,09	
35-64 ans	54	39,42	-	20	14,60	34	24,82	
65 ans et plus	19	13,87	-	5	3,65	14	10,22	
<i>Éclairément</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Jour	117	85,40	-	34	24,82	83	60,58	2,02 (0,156)
Nuit	20	14,60	-	9	6,57	11	8,03	
<i>Type d'impact</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Arrière	3	2,19	-	0	0,00	3	2,19	2,78 (0,096)
Latéral	89	64,96	-	20	14,60	69	50,36	
Frontal	3	2,19	-	1	0,73	2	1,46	
Gauche opposant	7	5,11	-	1	0,73	6	4,38	
Changement de voie	3	2,19	-	0	0,00	3	2,19	
Autre	32	23,36	-	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	-	3	2,19	3	2,19	1,01 (0,315)
Non	131	95,62	-	40	29,20	91	66,42	
<i>Courbe</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Oui	6	4,38	-	1	0,73	5	3,65	0,63 (0,427)
Non	131	95,62	-	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	-
Artère urbaine	48	35,04		20	14,60	28	20,44	-
Réseau rural	27	19,71		9	6,57	18	13,14	-
<i>Nombre de voies</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
2	106	77,37	93,84 ($<0,0001$)	34	24,82	72	52,55	-
4	31	22,63		9	6,57	22	16,06	-
<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	

Source : Auteur

3.3.2 Détection des points chauds d'accidents impliquant un cycliste

Les deux méthodes (KDE et Kulldorff) démontrent pratiquement les mêmes concentrations spatiales pour les accidents entre les cyclistes et les véhicules motorisés. Les endroits le plus à risque sont tous localisés dans la municipalité de Victoriaville et les plus importants sont à proximité du centre-ville et de la Route Verte (Figure 3.6). La méthode de Kulldorff a détecté quatre AD où le risque relatif d'y retrouver un accident impliquant un cycliste est de 7 à 52 fois plus élevé qu'ailleurs (Tableau 3.3). Lorsqu'on superpose la localisation de ces AD (zones hachurées sur les Figures 3.6, 3.7 et 3.8) avec la carte de densité du KDE (zones en rouge), on dénote la présence plus précise de six agrégats (Figures 3.6, 3.7 et 3.8).

Tableau 3.3 : Détection des agrégats spatiaux (AD) des accidents 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 volume de véhicule)	51,72	7,03	10,82	10,82
Valeur de P	0,001	0,001	0,017	0,017

Source : Auteur

Le point chaud d'accidents le plus important est caractérisé par le passage d'une infrastructure cyclable importante (agrégat 1 sur la Figure 3.6). Cette intersection problématique se retrouve entre la Route Verte et une artère urbaine avec un volume de trafic élevé. Ce passage est caractérisé par des panneaux en amont, un marquage au sol et un feu jaune clignotant (flèches rouges, Figure 3.7). 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 caractérisée 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.

Il existe un deuxième point chaud important (agrégat 2 sur la Figure 3.6), 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, Figure 3.8) avec des commerces de proximité et un volume assez élevé de véhicule, notamment durant les 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 possiblement 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 arrêts dans toutes les directions) et un marquage au sol signale le passage de la piste cyclable.

Un dernier point chaud important pour cette partie de la ville est présent au croisement d'une piste cyclable locale (flèche rouge, Figure 3.9), de la Route Verte et d'une rue locale (agrégat 3 sur la Figure 3.6). 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 arrêts dans toutes les directions et un marquage au sol (suivant la Route Verte).

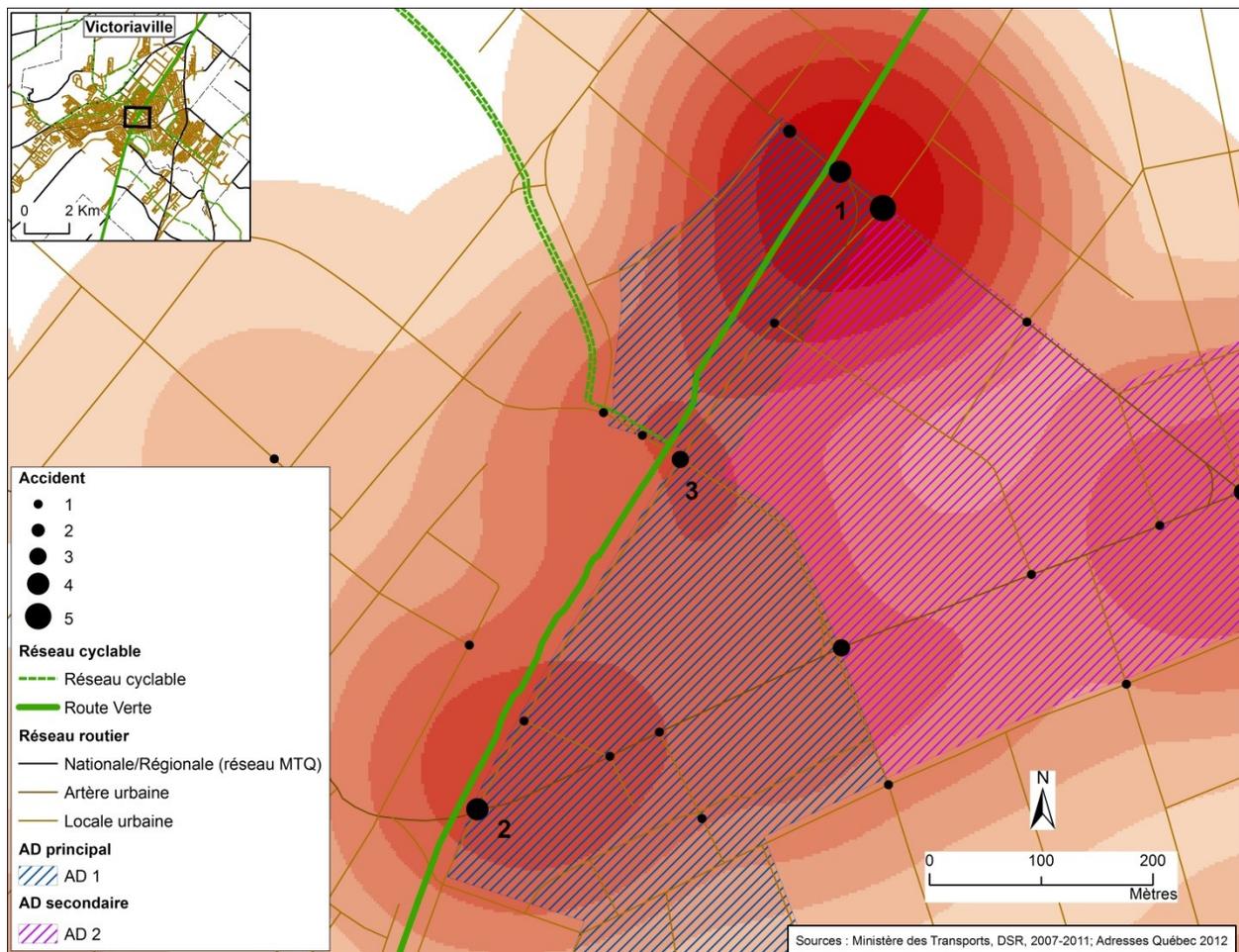


Figure 3.6 : Densité et agrégats spatiaux (1, 2, 3) des accidents

Source : Auteur



Figure 3.7 : Agrégat 1

Source : Google Street View (2012)



Figure 3.8 : Agrégat 2

Source : Google Street View (2012)



Figure 3.9 : Agrégat 3

Source : Google Street View (2012)

À l'est de la zone précédente, on retrouve le 4^e agrégat à l'intersection très achalandée de deux artères urbaines (agrégat 4 sur la Figure 3.10). Cette intersection, localisée dans une zone plutôt commerciale, a des feux de circulation et plus de deux voies dans chaque direction (Figure 3.11). Ce point chaud contient également quelques intersections avec des panneaux arrêts 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 contient pas d'infrastructure cyclable, mais possiblement de la circulation de transit lorsqu'il y a congestion sur les artères avoisinantes.

De moindre importance, un point chaud est présent le long d'une artère urbaine de nature commerciale à plus de 4 voies où le volume de véhicule est élevé (agrégat 5 sur la Figure 3.10). Cette artère urbaine est caractérisée par plusieurs intersections avec des feux de circulation, dont une intersection qui croise une route du réseau MTQ (Figure 3.12). Une bande cyclable est présente sur une rue en parallèle (au nord) et une autre sur une rue transversale, ce qui peut signifier un volume de cycliste plus élevé dans le secteur.

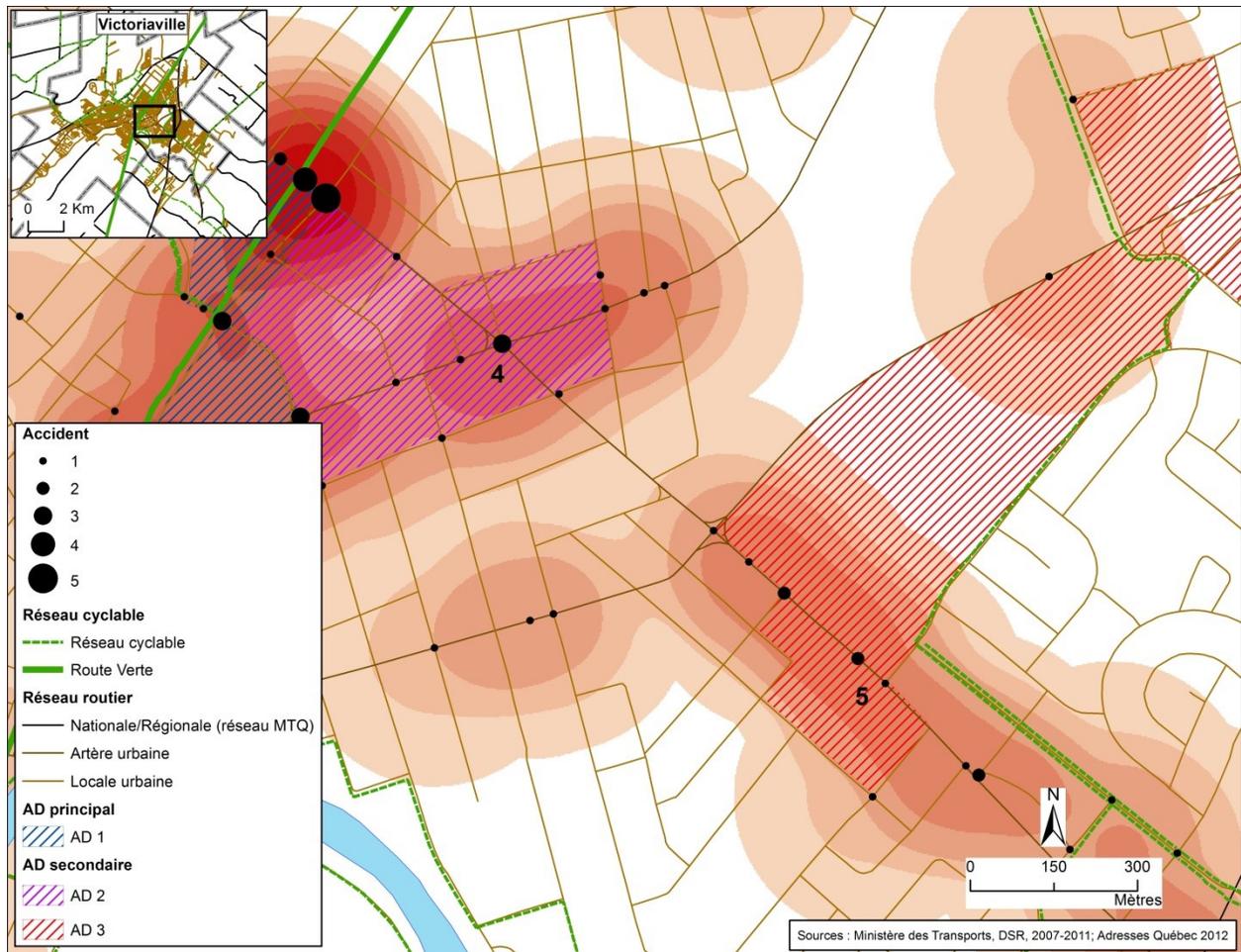


Figure 3.10 : Densité et agrégats spatiaux (4, 5) des accidents

Source : Auteur



Figure 3.11 : Agrégat 4

Source : Google Street View (2012)



Figure 3.12 : Agrégat 5

Source : Google Street View (2012)

Le dernier agrégat est localisé dans un secteur très résidentiel de la partie ouest de la municipalité de Victoriaville (agrégat 6 sur la Figure 3.13). 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 accidents ont lieu à des intersections ayant trois approches avec seulement un panneau d'arrêt (Figure 3.14). Environ la moitié des accidents dans ce secteur ont impliqué un enfant de 15 ans et moins, ce qui explique possiblement la localisation de cet agrégat dans un quartier résidentiel.



Figure 3.13 : Densité et agrégats spatiaux (6) des accidents

Source : Auteur



Figure 3.14: Agrégat 6

Source : Google Street View (2012)

3.3.3 Modèle prédictif des accidents

Le modèle de régression de Poisson nous démontre l'influence de cinq variables sur le risque d'accident entre un cycliste et un véhicule motorisé sur les tronçons d'un milieu moins urbanisé (Tableau 3.4). La variable la plus importante est la présence d'une intersection, où le risque est plus élevé par rapport aux accidents en dehors des intersections (coefficient à 0,611; $p < 0,001$). La présence d'infrastructure pour les cyclistes augmente également le risque d'accident (coefficient à 0,421; $p < 0,001$). De plus, le risque d'accident dans le milieu urbain le plus dense de la MRC (Victoriaville) est plus élevé qu'en milieu plus rural (le reste de la MRC) (coefficient à 0,711; $p = 0,003$). Ensuite, les artères urbaines sont significativement plus à risque que les rues locales urbaines (coefficient à 0,920; $p = 0,005$). Finalement, bien que les DJMA soient significatifs ($p = 0,029$), ils n'influencent pas le risque d'accident (coefficient à 0).

Tableau 3.4 : Résultats de la régression de Poisson sur le nombre total d'accidents par tronçon (y)

Variabes	Coef.	Erreur -type	Wald	P	IC 95%	
Localisation de l'accident à une intersection	0,611	0,081	57,46	<,0001	0,4533	0,7695
Présence d'infrastructure cyclable	0,421	0,067	39,26	<,0001	0,2894	0,5529
Accident 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 MTQ) – 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

Source : Auteur

3.3.4 Modèle prédictif des accidents avec blessures

Aucune des variables du modèle de régression logistique n'est significative au seuil de 0,05, bien que trois d'entre elles s'en rapprochent (Tableau 3.5). Contrairement au modèle précédent, la présence d'infrastructures cyclables réduit considérablement le risque d'un accident impliquant des blessures de 54,3% ($p=0,073$). Par ailleurs, les jeunes cyclistes (15 ans et moins) ont un risque de blessure 5,4 fois plus élevé par rapport aux cyclistes âgés de 34 à 64 ans ($p=0,075$). Enfin, un fait étonnant est que le risque de blessure est 59,5% moins élevé la nuit comparativement au jour ($p=0,095$).

Tableau 3.5 : Résultat de la régression logistique sur le fait d'avoir un accident 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. 35-64 ans	1,689	0,947	3,1778	0,075	5,413	0,845-34,655
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 l'accident 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
Accident 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

Source : Auteur

3.4 Discussion

Bien que le territoire d'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 accidents 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.

3.4.1 Des ressemblances entre les agrégats spatiaux et le modèle prédictif des accidents

Lorsque nous comparons les résultats des agrégats spatiaux et des modèles prédictifs, nous constatons que la plupart des variables décrivant les points chauds sont les mêmes qui influencent le risque d'accident selon le premier modèle. Une telle similitude ne peut être établie avec le deuxième modèle sur les accidents avec blessures. 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 risque d'accident. La présence d'infrastructures cyclables constitue également une variable qui caractérise les agrégats spatiaux et l'augmentation du risque d'accident. Cependant, le risque de blessure lors d'un accident est réduit lorsqu'il y a la présence de telles infrastructures selon le deuxième modèle.

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

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 potentiels entre les véhicules et les cyclistes aux intersections expliquent pourquoi une grande portion des accidents ont lieu à ces endroits (Dumbaugh et Li 2011; Dumbaugh et al. 2013; Kaplan et Prato, 2013; Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012; Siddiqui et al. 2012; Stone et Broughton, 2003; Vandembulcke et al. 2014). 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 ajouter aux études précédentes qui ont obtenu des résultats contradictoires (Eluru et al. 2008; Klassen et al. 2014; Zahabi et al. 2011).

Nos résultats démontrent aussi que le risque d'accident est plus élevé sur les rues locales urbaines et les artères urbaines comparées au réseau supérieur, ici sous la juridiction du MTQ. Ceci peut être expliqué par le nombre peu élevé d'accidents (seulement 27 sur un total de 137) et d'infrastructures cyclables sur le réseau rural, ce qui suppose un faible nombre de cyclistes sur ce type de route. Pour le réseau municipal, les artères urbaines sont plus à risque que les rues locales urbaines, ce qui est comparable aux travaux semblables sur le sujet. Selon Dumbaugh et Li (2011) et Dumbaugh et al. (2013), les artères contribuent de façon plus importante au risque d'accidents impliquant un cycliste en raison de la vitesse élevée des véhicules qui y circulent et de la présence de multiples intersections qui sont autant de zones de conflits potentiels. La configuration du réseau routier en milieu moins dense semble ainsi ressembler aux analyses habituelles.

Finalement, nos résultats démontrent que l'âge influence le risque d'être blessé lorsqu'il y a une collision entre un véhicule et un cycliste. Les jeunes cyclistes (15 ans et moins) sont plus à risque d'être blessé que les adultes (35-64 ans). Seulement Kaplan et al. (2014) affirment aussi que la gravité des blessures risque d'être 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).

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

Les résultats de la présente étude démontrent que le risque d'accident en milieu urbain (municipalité de Victoriaville) est plus élevé que celui en milieu rural. Cela ne concorde pas avec certains travaux qui obtiennent comme résultat que les zones rurales soient plus à risque. 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.

La présence d'infrastructures cyclables augmente le risque d'accident selon nos résultats, ce qui est en désaccord avec la majorité de la littérature existante. Chen et al. (2012), Hamann et

Peek-Asa (2013), Kaplan et al. (2014), Romanow et al. (2012) et Thomas et DeRobertis (2013) expliquent que la mise en place de telles infrastructures permet une réduction de la vitesse des automobilistes, en plus d'augmenter l'espace dédié aux cyclistes sur la chaussée et de réduire le risque d'accidents mortels. Néanmoins, Johnson (2013) constate que la présence d'infrastructure pour les cyclistes augmente le risque d'accident, notamment en raison du nombre plus élevé de cyclistes que l'on y retrouve. Ainsi, plus de cyclistes équivaldraient à plus d'accidents, ce qui est contraire à l'effet du nombre de Jacobsen (2003). Par rapport au risque de blessure, les résultats obtenus témoignent qu'il est plus faible où il y a la présence d'infrastructures cyclables. Cela vient confirmer la littérature existante, contrairement au risque d'accident. 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).

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. Bien que Kaplan et al. (2014) arrivent aux mêmes résultats que nous, la nuit est habituellement plutôt vue comme un facteur de risque important : la nuit cause une réduction de la visibilité, ce qui fait en sorte que les manœuvres d'évitement sont plus difficiles entre les véhicules et les cyclistes (Boufous et al, 2012; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; Yan et al, 2011). Nos résultats s'expliquent certainement par la faible présence de cyclistes la nuit (seulement 20 accidents sur un total de 137 ont eu lieu la nuit), en particulier en milieu rural, un autre élément propre à ces milieux.

3.5 Conclusion

La présente étude contient quelques limites par rapport aux données et à la méthodologie. 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, notamment dans le périmètre de Victoriaville (Morency et Cloutier 2006). En effet, ce type de méthode d'agrégats spatiaux se concentre seulement sur une faible proportion des accidents, donc une réduction substantielle du nombre d'accidents est invraisemblable si l'on agit uniquement sur ces sites. 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 d'accidents dans la base de données utilisée, tandis qu'il y en a seulement 37 qui sont localisés à l'intérieur

des zones de points chauds les plus importants. Cette limite importante nous a obligé d'avoir également recours à des méthodes de modélisation statistique, car elles permettent d'exploiter toutes les informations disponibles sur un ensemble de données pour ainsi prédire le risque d'accident et de blessure pour tout le territoire à l'étude (Vandenbulcke et al. 2014).

Ensuite, les données proviennent seulement des rapports policiers, ce qui implique qu'il doit y avoir une voiture mêlée dans l'accident et qu'un agent de la paix soit contacté. Cela entraîne donc une possible sous-estimation des cas. En effet, la plupart des accidents impliquant un cycliste ne résultent pas en des blessures graves ou des dommages matériels majeurs et il est connu que les accidents sans blessure et avec blessures légères sont moins répertoriés à la fois par les victimes, mais aussi par les forces de police, en particulier chez les cyclistes qui peuvent faire une chute après le passage d'une voiture (Allen-Munley et al. 2004; Bil et al. 2010; Eluru et al. 2008; Hamann et Peek-Asa 2013; Klop et Khattak 1999; Langley et al. 2003; Yan et al. 2011). Selon une étude réalisée par Langley et al. (2003), 46% des accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé ne sont pas répertoriés dans les rapports policiers. Pour les études futures, les données provenant des hôpitaux devraient aussi être utilisées pour une représentation plus complète des divers types d'accidents, incluant les chutes de cyclistes qui n'impliquent pas toujours un véhicule et qui ne se retrouvent pas dans les rapports policiers, mais qui sont parfois attribuables aux aménagements routiers tout de même (Bil et al. 2010; Langley et al. 2003).

Une autre limite de notre base de données est reliée à un nombre d'accidents peu élevé, ce qui limite la puissance statistique et le nombre de variables qui peut être intégré 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 ordinales (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 d'accidents, 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 d'accidents.

Enfin, cette étude n'inclut pas les données sur le trafic de cyclistes, faute d'être disponible. 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 (Chong et al. 2010; Dumbaugh et al. 2013; Haileyesus et

al. 2007; Hamann et Peek-Asa 2013; Romanow et al. 2012; Yan et al. 2011; Zahabi et al. 2011). Cependant, cette première étude sur les milieux peu denses et leur impact sur les accidents impliquant un cycliste apporte tout de même plusieurs pistes de réflexion pour continuer d'améliorer la sécurité routière des cyclistes.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

Comme mentionné dans le chapitre des résultats, bien que le territoire d'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 accidents 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. Avant de s'attarder à la comparaison des facteurs de risque entre notre étude et la littérature, nous discuterons des éléments importants expliquant la présence de points chauds et de regroupements spatiaux d'accidents dans la MRC. Nous concluons ce chapitre en présentant les limites de l'étude.

4.1 Divers éléments pouvant expliquer la présence de points chauds et de regroupements spatiaux d'accidents

L'analyse des concentrations spatiales et des agrégats spatiaux des accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé nous démontre qu'il existe définitivement des points chauds dans la MRC d'Arthabaska, surtout dans la municipalité de Victoriaville. Les deux méthodes utilisées lors de cette analyse, soit le KDE et les statistiques de balayage de Kulldorff démontrent pratiquement les mêmes concentrations spatiales.

Les trois agrégats spatiaux les plus importants sont tous caractérisés par le passage de la Route Verte, la proximité du centre-ville de Victoriaville et la présence d'une ou plusieurs intersections. En effet, un volume plus élevé de cyclistes sur la Route Verte, une chaussée étroite et un volume assez élevé de véhicule dans le centre-ville, ainsi que de nombreuses interactions augmentant le risque de conflit aux intersections, sont tous des éléments qui peuvent expliquer la présence de ces points chauds. Les artères urbaines figurent également comme élément considérable pour quelques autres agrégats spatiaux moins importants. Ce type de route est caractérisé par un volume de trafic élevé, des vitesses pratiquées souvent plus élevées par les automobilistes et une largeur élevée de la chaussée où il y a souvent plus de 4 voies. Finalement, des rues locales urbaines peu achalandées et une faible limite de vitesse affichée sont des éléments caractérisant un dernier agrégat. Ces éléments vont à l'encontre des éléments soulignés pour tous les autres points chauds et illustrent une possible problématique de cohabitation des enfants cyclistes et des véhicules dans ce quartier résidentiel.

4.2 Des ressemblances entre les agrégats spatiaux et le modèle prédictif des accidents

Lorsque nous comparons les résultats des agrégats spatiaux et des modèles prédictifs, nous constatons que la plupart des variables décrivant les points chauds sont les mêmes qui influencent le risque d'accident selon le premier modèle. Une telle similitude ne peut être établie avec le deuxième modèle sur les accidents avec blessures. 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 risque d'accident. La présence d'infrastructures cyclables constitue également une variable qui caractérise les agrégats spatiaux et l'augmentation du risque d'accident. Cependant, le risque de blessure lors d'un accident est réduit lorsqu'il y a la présence de telles infrastructures selon le deuxième modèle.

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

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 potentiels entre les véhicules et les cyclistes aux intersections expliquent pourquoi une grande portion des accidents ont lieu à ces endroits (Dumbaugh et Li 2011; Dumbaugh et al. 2013; Kaplan et Prato, 2013; Kim et al. 2012; Romanow et al. 2012; Siddiqui et al. 2012; Stone et Broughton, 2003; Vandenbulcke et al. 2014). 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 ajouter aux études précédentes qui ont obtenu des résultats contradictoires (Eluru et al. 2008; Klassen et al. 2014; Zahabi et al. 2011).

Nos résultats démontrent aussi que le risque d'accident est plus élevé sur les rues locales urbaines et les artères urbaines comparées au réseau supérieur, ici sous la juridiction du MTQ. Ceci peut être expliqué par le nombre peu élevé d'accidents (seulement 27 sur un total de 137) et d'infrastructures cyclables sur le réseau rural, ce qui suppose un faible nombre de cyclistes sur ce type de route. Pour le réseau municipal, les artères urbaines sont plus à risque que les rues locales urbaines, ce qui est comparable aux travaux semblables sur le sujet. Selon

Dumbaugh et Li (2011) et Dumbaugh et al. (2013), les artères contribuent de façon plus importante au risque d'accidents impliquant un cycliste en raison de la vitesse élevée des véhicules qui y circulent et de la présence de multiples intersections qui sont autant de zones de conflits potentiels. La configuration du réseau routier en milieu moins dense semble ainsi ressembler aux analyses habituelles.

Finalement, nos résultats démontrent que l'âge influence le risque d'être blessé lorsqu'il y a une collision entre un véhicule et un cycliste. Les jeunes cyclistes (15 ans et moins) sont plus à risque d'être blessé que les adultes (35-64 ans). Seulement Kaplan et al. (2014) affirment aussi que la gravité des blessures risque d'être 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).

4.4 Des facteurs de risque propre aux régions à faible densité de population : milieu rural, infrastructure cyclable et éclairage

Les résultats de la présente étude démontrent que le risque d'accident en milieu urbain (municipalité de Victoriaville) est plus élevé que celui en milieu rural. Cela ne concorde pas avec certains travaux qui obtiennent comme résultat que les zones rurales soient plus à risque. 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.

La présence d'infrastructures cyclables augmente le risque d'accident selon nos résultats, ce qui est en désaccord avec la majorité de la littérature existante. Chen et al. (2012), Hamann et Peek-Asa (2013), Kaplan et al. (2014), Romanow et al. (2012) et Thomas et DeRobertis (2013) expliquent que la mise en place de telles infrastructures permet une réduction de la vitesse des automobilistes, en plus d'augmenter l'espace dédié aux cyclistes sur la chaussée et de réduire le risque d'accidents mortels. Néanmoins, Johnson (2013) constate que la présence d'infrastructure pour les cyclistes augmente le risque d'accident, notamment en raison du nombre plus élevé de cyclistes que l'on y retrouve. Ainsi, plus de cyclistes équivaldraient à plus d'accidents, ce qui est contraire à l'effet du nombre de Jacobsen (2003). Par rapport au risque de blessure, les résultats obtenus témoignent qu'il est plus faible où il y a la présence

d'infrastructures cyclables. Cela vient confirmer la littérature existante, contrairement au risque d'accident. 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).

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. Bien que Kaplan et al. (2014) arrivent aux mêmes résultats que nous, la nuit est habituellement plutôt vue comme un facteur de risque important : la nuit cause une réduction de la visibilité, ce qui fait en sorte que les manœuvres d'évitement sont plus difficiles entre les véhicules et les cyclistes (Boufous et al, 2012; Kim et al. 2007; Klop et Khattak 1999; Yan et al, 2011). Nos résultats s'expliquent certainement par la faible présence de cyclistes la nuit (seulement 20 accidents sur un total de 137 ont eu lieu la nuit), en particulier en milieu rural, un autre élément propre à ces milieux.

4.5 Limites de l'étude

La présente étude contient quelques limites par rapport aux données et à la méthodologie. 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, notamment dans le périmètre de Victoriaville (Morency et Cloutier 2006). En effet, ce type de méthode d'agrégats spatiaux se concentre seulement sur une faible proportion des accidents, donc une réduction substantielle du nombre d'accidents est invraisemblable si l'on agit uniquement sur ces sites. 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 d'accidents dans la base de données utilisée, tandis qu'il y en a seulement 37 qui sont localisés à l'intérieur des zones de points chauds les plus importants.

Ensuite, les données proviennent seulement des rapports policiers, ce qui implique qu'il doit y avoir une voiture mêlée dans l'accident et qu'un agent de la paix soit contacté. Cela entraîne donc une possible sous-estimation des cas. En effet, la plupart des accidents impliquant un cycliste ne résultent pas en des blessures graves ou des dommages matériels majeurs et il est connu que les accidents sans blessure et avec blessures légères sont moins répertoriés à la fois par les victimes, mais aussi par les forces de police, en particulier chez les cyclistes qui peuvent

faire une chute après le passage d'une voiture (Allen-Munley et al. 2004; Bil et al. 2010; Eluru et al. 2008; Hamann et Peek-Asa 2013; Klop et Khattak 1999; Langley et al. 2003; Yan et al. 2011). Selon une étude réalisée par Langley et al. (2003), 46% des accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé ne sont pas répertoriés dans les rapports policiers. Pour les études futures, les données provenant des hôpitaux devraient aussi être utilisées pour une représentation plus complète des divers types d'accidents, incluant les chutes de cyclistes qui n'impliquent pas toujours un véhicule et qui ne se retrouvent pas dans les rapports policiers, mais qui sont parfois attribuables aux aménagements routiers tout de même (Bil et al. 2010; Langley et al. 2003).

Une autre limite de notre base de données est reliée à un nombre d'accidents peu élevé, ce qui limite la puissance statistique et le nombre de variables qui peut être intégré 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 ordinales (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 d'accidents, 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 d'accidents.

Enfin, cette étude n'inclut pas les données sur le trafic de cyclistes, faute d'être disponible. 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 (Chong et al. 2010; Dumbaugh et al. 2013; Haileyesus et al. 2007; Hamann et Peek-Asa 2013; Romanow et al. 2012; Yan et al. 2011; Zahabi et al. 2011). Cependant, cette première étude sur les milieux peu denses et leur impact sur les accidents impliquant un cycliste apporte tout de même plusieurs pistes de réflexion pour continuer d'améliorer la sécurité routière des cyclistes.

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous avons comme objectif principal de documenter les facteurs de risque reliés à l'environnement routier pour les accidents entre un cycliste et un véhicule motorisé dans un milieu régional moins dense. La littérature existante démontre que l'environnement routier a définitivement une influence sur la sécurité routière des cyclistes, autant sur le risque d'accident que sur la gravité des blessures qui en résultent. Toutefois, les études sont peu nombreuses et la gravité des blessures subies par les cyclistes est encore moins abordée. De plus, ce sont surtout les régions urbaines les plus densément peuplées qui sont étudiées, malgré le fait que les cyclistes ont un risque beaucoup plus élevé d'être impliqués dans une collision avec un véhicule motorisé et d'être gravement blessés en milieu périurbain et rural. Cela met en évidence la pertinence d'étudier un milieu faiblement densifié dans le cadre de ce mémoire.

L'objectif de ce mémoire a été atteint, ce dernier s'articulant autour de la question suivante : quels sont les facteurs de risque de l'environnement routier pour expliquer les blessés cyclistes résultant d'un accident avec un véhicule motorisé dans un milieu urbain faiblement densifié ? Pour atteindre cet objectif, une analyse en deux temps a été réalisée. Tout d'abord, la distribution spatiale des accidents (points chauds, regroupements spatiaux) a été explorée. La détection des points chauds et des regroupements spatiaux à l'aide de la méthode du KDE et des statistiques de balayage de Kulldorff nous a permis de cibler les sites spécifiques où une intervention devrait être priorisée, ce qui permet d'intervenir plus efficacement sur les zones les plus problématiques. L'analyse de ces zones nous a démontré qu'elles sont surtout caractérisées par le passage de la Route Verte, le centre-ville de Victoriaville et la présence d'une intersection.

Ensuite, les éléments de l'environnement routier ont été modélisés statistiquement pour mieux comprendre ce qui influence le risque d'accident. Un premier modèle a déterminé lesquels des éléments de l'environnement routier influencent le plus la probabilité qu'il y ait un accident ou non à l'aide d'une régression de Poisson. Cette méthode est largement utilisée pour analyser les données de fréquence, de comptage et du nombre d'occurrence. Un deuxième modèle a déterminé lesquels des éléments de l'environnement routier influencent le plus la probabilité qu'il y ait un blessé cycliste ou non lors d'un accident à l'aide d'une régression logistique. Cette dernière méthode est principalement utilisée pour des données dichotomiques. Nos résultats ont démontré qu'il existe des facteurs de risque semblables en région à faible densité de population

et en région urbaine plus dense, dont les intersections, les artères urbaines et l'implication de jeunes cyclistes (15 ans et moins). Au contraire, le milieu plus urbain, la présence d'infrastructures cyclables, ainsi que l'éclairage (nuit), sont tous des facteurs de risque étant propre aux régions à faible densité de population selon notre étude.

Finalement, la présente étude contient quelques limites par rapport aux données et à la méthodologie. Quoique la détection des points chauds permette de cibler des sites spécifiques, la magnitude du problème à une plus grande échelle n'est pas considérée. Ensuite, le nombre d'accidents est sous-représenté, car ces données proviennent seulement des rapports policiers. Ceci limite aussi la puissance statistique des modèles étant donné que le nombre d'accidents est peu élevé. Une dernière lacune de cette étude est que les données sur le trafic de cyclistes ne sont pas intégrées, faute d'être disponibles. Pour les études futures, les données provenant des hôpitaux devraient aussi être utilisées pour une représentation plus authentique des accidents impliquant un cycliste. L'intégration des données d'exposition (trafic de cyclistes) permettrait également à rendre les analyses de ce type d'étude plus exhaustives. En somme, cette première étude sur les milieux peu denses et leur impact sur les accidents impliquant un cycliste apporte tout de même plusieurs pistes de réflexion pour continuer d'améliorer la sécurité routière des cyclistes.

ANNEXE 1 : FORMULAIRES POUR LA COLLECTE DE DONNÉES SUR LES TRONÇONS ET LES CARREFOURS



Information

Nom, Prenom:	Municipalité:		
Heure de début:	Qualité de la chaussée: <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> Bonne</tr></table>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

| Heure de fin: | Type d'intersection: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | Giratoire

| | Type T
 |
| | Type Y
 |
| | Décalé
 |
| Date: | |

Caractéristiques des approches

		Nord			
<p>p1. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection:</p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> Oui</tr></table>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>					

q1. Stationnement permis:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Si oui, en tout temps:	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Spécifiez les heures, côtés et jours:

Angle:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

 a1. Nom de la route: b1. Contrôle de l'approche: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | | Arrêt

| | Aucun
 | Autre

c1. Si feu de circulation: virage à gauche protégé:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

d1. Nombre de voies total:

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

e1. Largeur de l'approche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

f1. Baie de virage à gauche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

g1. Voie vir. à droite exclusive:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

h1. Traverse piétonne:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

i1. Marquage visible:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

j1. Sens Unique:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

k1. Phasage pour piétons:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

L1. Approche pavée:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

m1. Éclairage

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

n1. Largeur d'accotement (Ouest):

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

o1. Largeur d'accotement (Est)

 p4. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | | Non

q4. Stationnement permis:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Si oui, en tout temps:	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Spécifiez les heures, côtés, et jours:

Angle:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

| Ouest | a3. Nom de la route: b3. Contrôle de l'approche: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | Feu de circulation

| | Aucun
 | Autre

c3. Si feu de circulation: virage à gauche protégé:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

d3. Nbr de voies total:

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

e3. Largeur de l'approche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

f3. Baie de virage à gauche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

g3. Voie vir. à droite exclusive:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

h3. Traverse piétonne:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

i3. Marquage visible:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

j3. Sens Unique:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

k3. Phasage pour piétons:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

L3. Approche pavée:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

m3. Éclairage

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

n3. Largeur d'accotement (Nord):

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

o3. Largeur de l'accotement (Sud):

 Coordonnées GPS de l'intersection: | Est | a4. Nom de la route: b4. Contrôle de l'approche: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | Feu de circulation

| | Aucun
 | Autre

c4. Si feu de circulation: virage à gauche protégé:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

d4. Nbr de voies total:

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

e4. Largeur de l'approche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

f4. Baie de virage à gauche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

g4. Voie vir. à droite exclusive:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

h4. Traverse piétonne:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

i4. Marquage visible:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

j4. Sens Unique:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

k4. Phasage pour piétons:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

L4. Approche pavée:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

m4. Éclairage

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

n4. Largeur d'accotement (Nord):

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

o4. Largeur de l'accotement (Sud):

| p3. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | Non

q3. Stationnement permis:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Si oui, en tout temps:	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Spécifiez les heures, côtés, et jours:

Angle:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

 a2. Nom de la route: b2. Contrôle de l'approche: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | Arrêt

| | Aucun
 | Autre

c2. Si feu de circulation: virage à gauche protégé:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

d2. Nombre de voies total:

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

e2. Largeur de l'approche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

f2. Baie de virage à gauche:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

g2. Voie vir. à droite exclusive:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

h2. Traverse piétonne:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

i2. Marquage visible:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

j2. Sens Unique:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

k2. Phasage pour piétons:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

L2. Approche pavée:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

m2. Éclairage

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------

n2. Largeur d'accotement (Ouest):

<input type="checkbox"/>					
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

o2. Largeur d'accotement (Est)

 p2. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection: | | |--------------------------| | <input type="checkbox"/> | |--------------------------| | | Non

q2. Stationnement permis:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Si oui, en tout temps:	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Spécifiez les heures, côtés et jours:

Angle:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------

| Sud | | | |
| Commentaires | | | |

ANNEXE 2 : FORMULAIRES POUR LES COMPTAGES



Nom, Prénom:	
Municipalité:	
Date:	
Heure de début:	
Heure de fin:	
Type d'intersection:	
<input type="checkbox"/> Croix (X)	<input type="checkbox"/> Décalé
<input type="checkbox"/> Type T	<input type="checkbox"/> Type Y

Véhicules légers (moins de 6,1m): Voitures et motos.
Véhicules lourds (plus de 6,1m): Camions, trailer et bus.
Veillez compter les véhicules de cette manière:
Veillez écrire un "0" pour compter les cyclistes.

		Nom de la rue:			
Véhicules légers	Véhicules lourds			Véhicules légers	Véhicules lourds
		Piétons			
Véhicules lourds	Véhicules légers	Véhicules lourds		Véhicules lourds	Véhicules légers
		Piéton		Piéton	
Véhicules légers	Véhicules légers			Véhicules légers	Véhicules légers
		Véhicules lourds		Véhicules lourds	
		Piétons			
Véhicules légers	Véhicules lourds			Véhicules légers	Véhicules lourds
		Nom de la rue:			
Nom de la rue qui fait la prochaine intersection de cette approche:					
Commentaires					



**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**

Nom,Prenom:
Municipalité:
Date:
Heure de début:
Heure de fin:
Nom du tronçon:
Localisation GPS d'ou le comptage est fait:

Véhicules légers (moins de 6,1m): Voitures et motos.
Véhicules lourds (plus de 6,1m): Camions, trailer et bus.
Veillez compter les véhicules de cette manière:

Veillez utiliser une colonne pour représenter une voie. Si vous avez besoin de plus d'espace, prenez une 2eime colonne et l'indiquer dans la section commentaires.

↓				↑		
Véhicules légers:	Véhicules légers:	Véhicules légers:		Véhicules légers:	Véhicules légers:	Véhicules légers:
Véhicules lourds:	Véhicules lourds:	Véhicules lourds:		Véhicules lourds:	Véhicules lourds:	Véhicules lourds:
Cycliste	Cycliste	Cycliste		Cycliste	Cycliste	Cycliste
Nom de rue croisant le tronçon:						
			← Piétons →			

Commentaires

BIBLIOGRAPHIE

- Allen-Munley, Cheryl et al. 2004. « Logistic Model for Rating Urban Bicycle Route Safety. » *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1878: 107-115. doi: 10.3141/1878-13.
- Amsden, Michael et Thomas Huber. 2006. *Bicycle Crash Analysis for Wisconsin Using a Crash Typing Tool (PBCAT) and Geographic Information System (GIS)*. Madison, WI: Wisconsin Department of Transportation, Council on Research. 77 pages.
- Anderson, Tessa K. 2009. « Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots ». *Accident Analysis and Prevention* 41: 359-364. doi:10.1016/j.aap.2008.12.014.
- Bassett, David et al. 2008. « Walking, Cycling, and Obesity Rates in Europe, North America, and Australia ». *Journal of Physical Activity and Health* 5: 795-814. <http://www.pedbikeinfo.org/cms/downloads/JPAH08.pdf>.
- Bíl, Michal et al. 2010. « Critical factor in fatal collisions of adult cyclists with automobiles ». *Accident Analysis and Prevention* 42: 1632-1636. doi: 10.1016/j.aap.2010.04.001.
- Biret, Claire et al. 2004. *VERS UNE PRATIQUE QUOTIDIENNE DU VELO 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. 130 pages.
- Boufous, Soufiane et al. 2012. « Risk factors for severe injury in cyclists involved in traffic crashes in Victoria, Australia ». *Accident Analysis and Prevention* 49: 404-409. doi: 10.1016/j.aap.2012.03.011.
- Carson, Jodi et Fred Mannering. 2001. « The effect of ice warning signs on ice-accident frequencies and severities ». *Accident Analysis and Prevention* 33: 99-109. doi: 10.1016/S0001-4575(00)00020-8.
- Chen, Li et al. 2012. « Evaluating the Safety Effects of Bicycle Lanes in New York City ». *American Journal of Public Health* 102 (6): 1120-1127. doi:10.2105/AJPH.2011.300319.
- Chong, Shanley et al. 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* 42: 290-296. doi: 10.1016/j.aap.2009.08.006.
- Coulombe, Michel. 2011. *L'état du vélo au Québec en 2010*. Montréal : Vélo Québec. 27 pages.
- Dajun, Dai. 2012. « Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian–vehicle crashes in a GIS environment ». *Journal of Transport Geography* 24: 206-214. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2012.02.005.
- Dumbaugh, Eric et Wenhao Li. 2010. « Designing for the Safety of Pedestrians, Cyclists, and Motorists in Urban Environments ». *Journal of the American Planning Association* 77(1): 69-88. doi: 10.1080/01944363.2011.536101.
- Dumbaugh, Eric et al. 2013. « The built environment and the incidence of pedestrian and cyclist crashes ». *URBAN DESIGN International* 18: 217-228. doi:10.1057/udi.2013.2.

- Eluru, Naveen et al. 2008. « A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes ». *Accident Analysis and Prevention* 40: 1033-1054. doi: 10.1016/j.aap.2007.11.010.
- Erdogan, Saffet et al. 2008. « Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar ». *Accident Analysis and Prevention* 40: 174-181. doi:10.1016/j.aap.2007.05.004.
- Erdogan, Saffet. 2009. « Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey Weighted Poisson Regression ». *Journal of Safety Research* 40: 341-351. doi: 10.1016/j.jsr.2009.07.006.
- Fortier, David et al. 2009. *Les aménagements cyclables : un cadre pour l'analyse intégrée des facteurs de sécurité*. Québec : Institut national de santé publique du Québec. 86 pages.
- Fotheringham, A. Stewart et Peter A. Rogerson. 2009. *The SAGE Handbook of Spatial Analysis*. Thousand Oaks, Californie : SAGE Publications Ltd. 528 pages.
- Gatrell, Anthony C. et al. 1996. « Spatial Point Pattern Analysis and Its Application in Geographical Epidemiology ». *Transactions of the Institute of British Geographers* 21 (1): 256-274. doi: 10.2307/622936.
- GéoMont. 2011. *Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal: Rapport final*. Saint-Hyacinthe: Agence géomatique montréalaise - GéoMont. 181 pages.
- Hamann, Cara et Corinne Peek-Asa. 2013. « On-road bicycle facilities and bicycle crashes in Iowa, 2007-2010 ». *Accident Analysis and Prevention* 56: 103-109. doi: 10.1016/j.aap.2012.12.031.
- Haileyesus, Tadesse et al. 2007. « Cyclists injured while sharing the road with motor vehicles ». *Injury Prevention* 13: 202-206. doi: 10.1136/ip.2006.014019.
- Herslund, Mai-Britt et Niels O. Jorgensen. 2003. « Looked-but-failed-to-see-errors in traffic ». *Accident Analysis and Prevention* 35: 885-891. doi: 10.1016/S0001-4575(02)00095-7.
- Hjalmar, Ulf et al. 1996. « Childhood leukemia in Sweden: Using GIS and a spatial scan statistic for cluster detection ». *Statistics in medicine* 15: 707-715. doi: 10.1002/(SICI)1097-0258(19960415)15:7/9<707::AID-SIM242>3.0.CO;2-4.
- Innamaa, Satu et al. 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. 49 pages. Consulté le 13 mai 2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T172.pdf>.
- Jacobsen, P L. 2003. « Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling ». *Injury Prevention* 9: 205-209. doi:10.1136/ip.9.3.205.
- Johnson, Kris. 2013. *Exploration of Bicycle Motorist Collisions in the City of Minneapolis*. Minneapolis: University of Minnesota. 20 pages.
- Kaplan, Sigal et Carlo Giacomo Prato. 2013. « Cyclist–Motorist Crash Patterns in Denmark: A Latent Class Clustering Approach ». *Traffic Injury Prevention* 14(7): 725-733. doi: 10.1080/15389588.2012.759654.
- Kaplan, Sigal et al. 2014. « Aggravating and mitigating factors associated with cyclist injury severity in Denmark ». *Journal of Safety Research* 50: 75-82. doi: 10.1016/j.jsr.2014.03.012.

- Kim, Joon-Ki et al. 2007. « Bicyclist injury severities in bicycle–motor vehicle accidents ». *Accident Analysis and Prevention* 39: 238-251. doi:10.1016/j.aap.2006.07.002.
- Kim, Myungseob et al. 2012. « Critical Factors Associated with Bicycle Accidents at 4-legged Signalized Urban Intersections in South Korea ». *KSCE Journal of Civil Engineering* 16(4): 627-632. doi: 10.1007/s12205-012-1055-1.
- Klassen, Jeana et al. 2014. « Analyzing the severity of bicycle-motor vehicle collision using spatial mixed logit models: A City of Edmonton case study ». *Safety Science* 62: 295-304. doi: 10.1016/j.ssci.2013.09.007.
- Klop, Jeremy R. et Asad J. Khattak. 1999. « Factors Influencing Bicycle Crash Severity on Two-Lane, Undivided Roadways in North Carolina ». *Transportation Research Record* 1674: 78-85. doi: 10.3141/1674-11.
- Kulldorff, Martin. 1997. « A Spatial Scan Statistic ». *Communications in Statistics-Theory and methods* 26(6): 1481-1496. doi: 10.1080/03610929708831995.
- Langley, J D et al. 2003. « Missing cyclists ». *Injury Prevention* 9: 376-379. doi: 10.1136/ip.9.4.376.
- Larose, Frédéric. 2011. « La pertinence du vélo en ville ». *Citego*. Consultée le 1 juillet 2014. http://base.citego.info/fr/corpus_analyse/fiche-analyse-65.html.
- Loo, Becky P.Y. et K.L. Tsui. 2010. « Bicycle crash casualties in a highly motorized city ». *Accident Analysis and Prevention* 42 : 1902-1907. doi: 10.1016/j.aap.2010.05.011.
- Lusk, Anne et al. 2011. « Risk of injury for bicycling on cycle tracks versus in the street ». *Injury Prevention* 17 : 131-135. doi:10.1136/ip.2010.028696.
- Lusk, Anne et al. 2013. « Bicycle Guidelines and Crash Rates on Cycle Tracks in the United States ». *American Journal of Public Health* 103(7) : 1240-1248. doi: 10.2105/AJPH.2012.301043.
- Marré, Needbool Félix. 2011. « Les impacts des aménagements cyclables à même la chaussée sur la sécurité routière à Montréal ». Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal.
- Meuleners, Lynn B. et al. 2007. « Road environment, crash type and hospitalisation of bicyclists and motorcyclists presented to emergency departments in Western Australia ». *Accident Analysis and Prevention* 39: 1222-1225. doi:10.1016/j.aap.2007.03.006.
- Miranda-Moreno, Luis et al. 2011. « Disaggregate exposure measures and injury frequency models of cyclist safety at signalized intersections ». *Transportation Research Record* 2236: 74-82. doi: 10.3141/2236-09.
- Moore, Darren N. et al. 2011. « Mixed logit analysis of bicyclist injury severity resulting from motor vehicle crashes at intersection and non-intersection locations ». *Accident Analysis and Prevention* 43: 621-630. doi: 10.1016/j.aap.2010.09.015.
- Morency, Patrick et Marie-Soleil Cloutier. 2006. « From targeted “black spots” to area-wide pedestrian safety ». *Injury Prevention* 12: 360-364. doi: 10.1136/ip.2006.013326.
- Oja, P. et al. 2011. « Health benefits of cycling: a systematic review ». *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21: 496-509. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01299.x.
- Pulugurtha, Srinivas S. et al. 2007. « New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: An illustration ». *Accident Analysis and Prevention* 39: 800-811. doi:10.1016/j.aap.2006.12.001.

- Quetelard, Bernard. 2013. *Usagers et déplacements à vélo en milieu urbain : Analyse des enquêtes ménages déplacements*. Lyon : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. 54 pages.
- Reynolds, Conor CO et al. 2009. « The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature ». *Environmental Health* 8: 47. doi:10.1186/1476-069X-8-47.
- Romanow, Nicole T.R. et al. 2012. « Environmental Determinants of Bicycling Injuries in Alberta, Canada ». *Journal of Environmental and Public Health* 2012: 12 pages. doi:10.1155/2012/487681.
- Rondier, Pierre. et al. 2015. « Exploring road safety analysis and stakeholder engagement for small and medium-sized communities ». *Paper no. 15-5108, 94th Annual Transportation Research Board Meeting*: 16 pages.
- SAAQ. 2009. *Guide de rédaction du rapport d'accident de véhicules routiers*. Québec : Société de l'assurance automobile du Québec. 85 pages.
- Saman, Daniel M. et al. 2012. « A Spatial Cluster Analysis of Tractor Overturns in Kentucky from 1960 to 2002 ». *PLoS ONE* 7(1): e30532. doi: 10.1371/journal.pone.0030532.
- Saunier, Nicolas et al. 2013a. *Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal : Rapport d'étape I*. Montréal : Polytechnique Montréal et INRS Centre Urbanisation Culture Société. 168 pages.
- Saunier, Nicolas et al. 2013b. *Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal : Rapport d'étape II*. Montréal : Polytechnique Montréal et INRS Centre Urbanisation Culture Société. 111 pages.
- Saunier, Nicolas et al. 2015. *Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal : Rapport final*. Montréal : Polytechnique Montréal et INRS Centre Urbanisation Culture Société. 192 pages.
- Schepers, J.P. et al. 2011. « Road factors and bicycle–motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections ». *Accident Analysis and Prevention* 43: 853-861. doi: 10.1016/j.aap.2010.11.005.
- Siddiqui, Chowdhury et al. 2012. « Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes ». *Accident Analysis and Prevention* 45: 382-391. doi: 10.1016/j.aap.2011.08.003.
- Song, Changhong. et Martin Kulldorff. 2003. « Power evaluation of disease clustering tests ». *International Journal of Health Geographics* 2: 9. doi: 10.1186/1476-072X-2-9.
- Stone, Mervyn et Jeremy Broughton. 2003. « Getting off your bike: cycling accidents in Great Britain in 1990–1999 ». *Accident Analysis and Prevention* 35: 549-556. doi: 10.1016/S0001-4575(02)00032-5.
- Strauss, Jillian et al. 2013. « Cyclist activity and injury risk analysis at signalized intersections: A Bayesian modelling approach ». *Accident Analysis and Prevention* 59: 9-17. doi: 10.1016/j.aap.2013.04.037.
- Strauss, Jillian et al. 2014. « Multimodal injury risk analysis of road users at signalized and non-signalized intersections ». *Accident Analysis and Prevention* 71: 201-209. doi: 10.1016/j.aap.2014.05.015.
- Tabachnick, Barbara G. et Linda S. Fidell. 2007. *Using Multivariate Statistics*, Fifth edition. Boston : Pearson Education, Inc. 1008 pages.

- Teschke, Kay et al. 2012. « Route Infrastructure and the Risk of Injuries to Bicyclists: A Case-Crossover Study ». *American Journal of Public Health* 102: 2336-2343. doi:10.2105/AJPH.2012.300762.
- Thomas, Beth et Michelle DeRobertis. 2013. « The safety of urban cycle tracks: A review of the literature ». *Accident Analysis and Prevention* 52: 219-227. doi: 10.1016/j.aap.2012.12.017.
- Turner, Shane et al. 2011. « Safety Performance Functions for Bicycle Crashes in New Zealand and Australia ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2236: 66-73. doi: 10.3141/2236-08.
- Tutz, Gerhard. 2011. *Regression for Categorical Data*. New York : Cambridge University Press. 572 pages.
- Vandenbulcke, Grégory et al. 2009. « Mapping bicycle use and the risk of accident for commuters who cycle to work in Belgium ». *Transport Policy* 16: 77-87. doi: 10.1016/j.tranpol.2009.03.004.
- Vandenbulcke, Grégory et al. 2014. « Predicting cycling accident risk in Brussels: A spatial case-control approach ». *Accident Analysis and Prevention* 62: 341-357. doi: 10.1016/j.aap.2013.07.001.
- Vélo Québec. 2013. *Le vélo dans l'avenir des villes : Propositions 2014-2021 de Vélo Québec*. Montréal : Vélo Québec. 16 pages.
- Vélo Québec. 2014. « Le concept de la Route verte ». *La Route Verte*. Consulté le 10 juillet 2014. <http://www.routeverte.com/rv/projet>.
- Woodcock, James et al. 2007. « Energy and transport ». *The Lancet* 370: 1078-1088. doi: 10.1016/S0140-6736(07)61254-9.
- Yan, Xinping et al. 2011. « Motor vehicle–bicycle crashes in Beijing: Irregular maneuvers, crash patterns, and injury severity ». *Accident analysis and Prevention* 43: 1751-1758. doi: 10.1016/j.aap.2011.04.006.
- Zahabi, Seyed Amir H. et al. 2011. « Estimating Potential Effect of Speed Limits, Built Environment, and Other Factors on Severity of Pedestrian and Cyclist Injuries in Crashes ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2247: 81-90. doi: 10.3141/2247-10.