

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

Sentiment de sécurité des piétons aux intersections signalées à Montréal et Québec, Canada : influence de l’environnement bâti et routier, du phasage des feux et des caractéristiques individuelles des piétons

Par

Hugo QUINTIN

Licence (baccalauréat) en géographie et aménagement

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

05 mai 2021

Ce mémoire intitulé

Sentiment de sécurité des piétons aux intersections signalées à Montréal et Québec, Canada : influence de l'environnement bâti et routier, du phasage des feux et des caractéristiques individuelles des piétons

Et présenté par

Hugo QUINTIN

A été évalué par un jury composé de

Mme Marie-Soleil CLOUTIER, directrice de recherche, INRS

M. Owen WAYGOOD, codirecteur de recherche, Polytechnique Montréal

M. Philippe APPARICIO, examinateur interne, INRS

M. Dominic VILLENEUVE, examinateur externe, Université Laval

RÉSUMÉ

De nombreuses études établissent une relation entre la sécurité routière et l'environnement bâti et routier ainsi que les caractéristiques individuelles des piétons. Cependant, peu d'études s'intéressent aux influences de ces variables sur le sentiment de sécurité des piétons. Ce mémoire s'inscrit donc dans cette démarche, avec une attention particulière donnée à la comparaison des systèmes de gestion des traversées piétonnes aux intersections avec feux de circulation, d'où l'intérêt de Montréal et de Québec (Canada) comme terrains d'étude. En effet, la priorité piétonne via des phasages exclusifs est une pratique systématique à Québec contrairement à Montréal. L'objectif est donc d'explorer la relation entre le risque perçu et vécu des piétons et ces différences de phasage, mais aussi avec les caractéristiques des intersections et des piétons eux-mêmes. Les données proviennent d'observations et de questionnaires in situ et ont servi à effectuer des analyses bivariées (Khi carré et ANOVA) et une analyse multiniveau. Nos résultats montrent que ce sont surtout le phasage des feux et les caractéristiques de l'environnement bâti et routier qui ont une influence sur le sentiment de sécurité (vitesse maximale autorisée, volume de véhicule, volume de piétons, etc.) Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension des dynamiques aux intersections avec feux et à leur phasage, ainsi qu'à une meilleure évaluation des enjeux liés à l'insécurité ressentie des piétons.

Mots-clés : Sécurité piétonne ; Sentiment de sécurité ; Risque vécu ; Risque perçu ; Intersections signalées ; Environnement bâti et routier ; Phasage des feux ; Analyse multiniveau ; Montréal ; Ville de Québec

ABSTRACT

Numerous studies establish a relationship between road safety and the built and road environment as well as the individual characteristics of pedestrians. However, few studies are interested in the influences of these variables on pedestrians' feelings of safety. This dissertation focuses on that issue. Specifically, it compares the feelings of safety for the management systems for pedestrian crossings at intersections with traffic lights in Montreal and Quebec City (Canada). In Quebec City, pedestrian priority by way of exclusive phasing is a systematic practise, unlike in Montreal. The objective is therefore to explore the relationship between the perceived and experienced risk of pedestrians and these traffic control differences, but also with consideration to the characteristics of the intersections and pedestrians. The data come from in-situ observations and from a street survey and were used to carry out bivariate analysis (chi-squared and analysis of variance) and a multi-level analysis. Our results show that it is mainly the phasing of the traffic lights and the characteristics of the built and road environment which have an influence on the feeling of safety (maximum permitted speed, number of vehicles, number of pedestrians, etc.) These results contribute to a better understanding of the dynamics at intersections with traffic lights and their phasing, as well as a better assessment of issues related to the feeling of safety perceived by pedestrians.

Keywords: Pedestrian safety; Perception of risk; Experienced risk; Perceived risk; Signalized intersections; Built and road environment; Traffic lights phasing; Bivariate analysis; Multi-level analysis; Montreal; Quebec City

AVANT-PROPOS

Ce mémoire fait partie intégrante d'une étude plus large nommée STRAPI – Système de gestion des TRAversées PIétonnes aux intersections munies de feux de circulation et de virage à droite au feu rouge : étude comparative entre Québec et Montréal. L'origine du projet vient d'une collaboration entre l'organisme Accès transports viables, l'Institut national de la recherche scientifique et l'Université Laval (puis Polytechnique Montréal). Cette recherche a été rendue possible grâce au soutien financier du ministère des Transports du Québec, via le Fonds de sécurité routière, avec l'appui de MITACS et du Réseau de recherche en sécurité routière.

L'intérêt du projet STRAPI est d'évaluer les performances des systèmes de gestion des phases piétonnes sur la sécurité piétonne dans deux villes, soit Montréal et Québec, mais également de mettre en lumière les comportements et les perceptions des piétons et des conducteurs utilisateurs de ces espaces. Le projet a été mené par une équipe mixte de chercheurs et professionnels, accompagnée par une équipe d'étudiants. Il a culminé par la présentation de quatre conférences, par la diffusion de fiches synthèses sur les résultats de la recherche et par l'écriture de plusieurs articles scientifiques.

Ce mémoire s'inscrit donc dans la lignée de ce projet et insère un des articles qui en découle. L'auteur principal de ce dernier est le même que celui du mémoire. Il a toutefois été accompagné par deux coauteurs, Marie-Soleil Cloutier (INRS) et Owen Waygood (Polytechnique Montréal), qui avaient pour rôle d'accompagner, de bonifier et de compléter l'analyse et la rédaction de l'article. Il a été soumis pour publication le 21 février 2021 et accepté pour publication le 12 avril 2021 à la revue Recherche Transports Sécurité. Il est retranscrit dans ce mémoire dans sa version non corrigée tel qu'il a été soumis à la revue, adaptant sa mise en page à celle du mémoire. La lettre d'acceptation officielle se trouve en annexe 3.

Remerciements

Je remercie, en premier temps, ma directrice de recherche, Marie-Soleil Cloutier, qui m'a fait confiance dès le début en me prenant comme stagiaire puis comme étudiant, et qui m'a donné la chance et l'opportunité de mener à bien cette recherche. Son aide, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de ma maîtrise a été très important et bénéfique pour moi ; je lui en suis très reconnaissant. La réussite de ce projet n'aurait pas pu être possible sans sa confiance et son engagement, ce pour quoi je lui adresse mes remerciements les plus sincères.

Je remercie aussi mon codirecteur, Owen Waygood, qui est présent depuis le début de cette recherche et qui était toujours là pour m'accompagner et m'aider dans la rédaction et la construction de ma recherche, mais aussi de l'article qui y est attaché.

J'aimerais aussi remercier l'organisme Accès Transports Viabes qui est l'instigateur du projet STRAPI, et plus particulièrement Valérie Marcon et Dominique Gagnon, qui m'ont fait confiance et épaulé dans la construction des outils de collecte et dans le partage des résultats.

Merci également à Simon Turcotte, qui était mon collègue de terrain, s'occupant de la Ville de Québec, mais aussi qui s'est occupé des belles cartes présentes dans ce mémoire. Puis, un merci également à tous les étudiants impliqués dans la collecte de données : Pierre-Philippe Vézina, Camille Ballick, Lilia Bouhadiba, Camille Beaudoin, Jade Talbot, Cindy Rojas et Mohsen Miladi.

Un merci également au ministère des Transports du Québec, à MITACS et au Réseau de recherche en sécurité routière qui, grâce à leur soutien financier, ont rendu cette recherche possible.

Enfin, plus personnellement, je voudrais remercier mes différents colocataires et amis que j'ai pu côtoyer tout au long de mes trois années de maîtrise, qui m'ont chacun aidé, à leur manière, à me motiver voire à m'inspirer. Un dernier merci à mes parents qui sont toujours là et sans qui, ces années et mon épanouissement n'auraient pas pu être possibles.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux-----	x
Liste des figures-----	xi
Introduction-----	1
Chapitre 1 : Problématique-----	3
1.1. La pérennité de la pratique de la marche en ville-----	3
1.1.1. La marche : une activité urbaine primaire-----	3
1.1.2. Des bénéfices sociétaux multiples-----	4
1.2. Histoire de la forme urbaine : d'une ville piétonne à une ville motorisée-----	6
1.2.1. Un développement historique des villes à l'échelle du piéton-----	6
1.2.2. Le XXème siècle : passage à une ville axée sur l'automobile-----	7
1.3. La sécurité piétonne : un problème de santé publique important-----	9
1.3.1. Portrait actuel de la sécurité piétonne dans le monde-----	10
1.3.2. Portrait actuel de la sécurité piétonne au Québec-----	12
1.4. Impacts des caractéristiques individuelles et de l'environnement routier et bâti sur la sécurité des piétons-----	15
1.4.1. Influence des caractéristiques individuelles sur la sécurité des piétons-----	15
1.4.2. Les caractéristiques de l'environnement et la question de l'exposition dans l'explication du nombre de collisions-----	16
1.4.3. Intersections urbaines et sécurité piétonne-----	17
1.4.4. Régulation des flux aux intersections : phasage des feux de circulation-----	18
1.4.5. Phasage des feux et sécurité des piétons-----	21
1.5. Question de recherche-----	22
1.5.1. Lacunes dans les recherches actuelles-----	22
1.5.2. Questions de recherche-----	23
1.6. Cadre conceptuel-----	23
1.6.1. Sentiment de sécurité : risque perçu et risque vécu-----	24
1.6.2. Sentiment de sécurité et caractéristiques individuelles-----	26
1.6.3. Sentiment de sécurité et facteurs environnementaux-----	26
Chapitre 2 : Méthodologie-----	28
2.1. Approche méthodologique et opérationnalisation-----	28
2.1.1. Approche et outils méthodologiques retenus-----	28

2.1.2. Mesure du risque perçu : questionnaire sur rue après la traversée du piéton -----	28
2.1.3. Mesure du risque vécu : observations non participantes de la traversée d'un piéton -----	31
2.2. Choix des intersections -----	35
2.2.1. Première étape : Classification par k-means -----	35
2.2.2. Deuxième étape : Validation préterrain -----	37
2.2.3. Dernière étape : Choix finaux -----	39
2.3. Collecte et analyse des données -----	42
2.3.1. Environnement bâti et routier : création d'une base de données à l'échelle de l'intersection	42
2.3.2. Collecte de données -----	46
2.3.3. Analyse bivariée et multiniveaux -----	47
Chapitre 3 : Résultats -----	49
3.1. Article : Sécurité vécue et perçue par les piétons aux intersections signalées : comparaison entre l'environnement bâti, routier et le phasage des feux à Montréal et Québec, Canada. -----	52
3.1.1 Introduction -----	52
3.1.2. Revue des écrits -----	53
3.1.3. Méthodologie -----	59
3.1.4. Résultats -----	69
3.1.5. Discussion -----	82
3.1.6. Conclusion -----	84
3.2. Résultats de l'analyse multiniveau -----	84
Chapitre 4 : Discussion -----	88
4.1. Influence relativement négligeable des caractéristiques individuelles sur le sentiment de sécurité -	88
4.1.1. L'âge et le genre non significatifs -----	88
4.1.2. L'aide à la mobilité comme facteur explicatif à Montréal -----	89
4.2. Environnement bâti et routier : des influences différentes selon le risque vécu ou le risque perçu--	90
4.2.1. Le phasage des feux déterminant dans le risque vécu -----	90
4.2.2. La taille de l'intersection et le volume de véhicule comme influences majeures sur le risque perçu -----	90
4.3. Lien entre les trois mesures de la sécurité : réelle, perçu et vécu -----	91
4.4. Forces et limites de la recherche -----	92
Conclusion -----	94
Bibliographie -----	95
Annexe 1 : Certificat d'éthique -----	102
Annexe 2 : Grille de pré-terrain -----	103

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Bénéfices sociétaux de la pratique de la marche urbaine.....	5
Tableau 1.2. Bilan 2019 des décès piétons au Québec, à Montréal et dans la Capitale-Nationale.....	14
Tableau 1.3. Bilan 2019 des différents scénarios de collisions impliquant un véhicule et un piéton à Montréal.....	14
Tableau 1.4. Visuels des feux piétons au Québec	19
Tableau 1.5. Phasage et visuel des feux de circulation et des feux piétons au Québec	20
Tableau 2.1. : Questions posées et choix de réponses possibles dans le questionnaire sur rue.....	30
Tableau 2.2 : Bilan des observations effectuées sur le terrain	34
Tableau 2.3. Résultats de la classification des intersections dans les deux villes à l'étude.....	36
Tableau 2.4. Intersections retenues et les caractéristiques communes.....	40
Tableau 2.5. Variables de l'environnement bâti et routier retenues.....	43
Tableau 3.1. Phasage et visuel des feux de circulation et des feux piétons au Québec	58
Tableau 3.2. Résultats de la classification des intersections dans les deux villes à l'étude.....	62
Tableau 3.3. Intersections sélectionnées pour les deux villes	63
Tableau 3.4 Variables de l'environnement bâti et routier retenues.....	65
Tableau 3.5. Résultats des tableaux de contingence et Khi carré pour le risque vécu	72
Tableau 3.6. Résultats des tests de moyenne (<i>Anova</i>) pour le risque vécu.....	75
Tableau 3.7. Résultats des tableaux de contingence et Khi-carré pour le risque perçu	77
Tableau 3.8. Résultats des tests de moyenne (<i>Anova</i>) pour le risque perçu	81
Tableau 3.9. Différents modèles testés.....	85
Tableau 3.10. Modèle multiniveau pour le risque vécu (n=2561)	86

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Graphique des décès (<i>deaths</i>) reliés aux véhicules motorisés aux États-Unis, entre 1925 et 1997, par millions de miles parcourus (<i>Vehicle miles traveled</i>) et les chiffres annuels de miles parcourus en million pour cette période.....	9
Figure 1.2. Répartition des décès selon le type d'utilisateur de la route par continent	11
Figure 1.3. Schéma synthétique du cadre conceptuel	24
Figure 2.1 : Schématisation d'une interaction	32
Figure 2.2. Localisation des intersections à Montréal.....	41
Figure 2.3. Localisation des intersections à Québec	41
Figure 3.1. Localisation des intersections à Montréal.....	64
Figure 3.2. Localisation des intersections à Québec.	64
Figure 3.3. Schématisation d'une interaction	67

INTRODUCTION

S'il y a une chose commune à tout être humain en bonne santé et sans handicap physique, c'est bien la capacité de se mouvoir sur ses deux pieds. Dès le plus jeune âge, l'être humain a l'aptitude, par le mouvement, d'explorer son monde, aussi petit qu'il soit. Le tout premier se limite généralement au tapis d'éveil, avec comme seul outil pour le découvrir un balancement de corps ou de tête. Puis, petit à petit, la locomotion s'améliore. L'enfant commence à ramper vers de nouveaux horizons qui lui étaient inconnus, pour se mettre ensuite à quatre pattes, voulant découvrir encore plus rapidement ce nouveau monde. Puis, viennent finalement les premiers pas et la position debout, marqueur inconditionnel de l'*Homo sapiens*. Finalement, au bout de quelques mois d'existence, l'être humain marche. Il peut alors déambuler dans différents environnements, et notamment les milieux urbains. En effet, alors que plus de la moitié de la population mondiale vit en ville, il est admis que la marche urbaine constitue une pratique largement exécutée sur tous les continents. Appelés piétons, ces urbains marcheurs cheminent à travers la ville, cohabitant avec les autres usagers de la route (conducteurs, cyclistes, etc.).

Afin d'assurer la sécurité de tous les usagers de la route, des normes et règlements existent et sont gérés par différents paliers de gouvernement. Plus spécifiquement, au Québec, les intersections avec des feux de circulation, c'est le ministère des Transports qui émet des règles universelles concernant les feux de circulation et les feux piétons, mais ce sont les municipalités qui ont la responsabilité d'articuler le système avec le trafic automobile. Les villes de Montréal et de Québec, les deux plus grandes municipalités de la province, se sont donc appropriées ces directives et ont adopté des systèmes de phasage des feux différents dans chacune de ces villes. Afin de dresser un portrait des avantages et des inconvénients de ces dispositifs, un projet de recherche a été mis en place par le *Laboratoire piétons et espace urbain* (LAPS) de l'INRS, en collaboration avec l'Université Laval (puis Polytechnique Montréal) et en partenariat avec l'organisme à but non lucratif *Accès Transport Viable*. Nommée STRAPI (*Système de gestion des traversées piétonnes aux intersections munies de feux de circulation et virage à droite au feu rouge : étude comparative entre Québec et Montréal*), cette recherche est à l'origine de ce mémoire, qui se concentre surtout sur les différences liées au sentiment de sécurité de la part des piétons. C'est une thématique qui, dans la littérature, est souvent moins abordée, mais tout aussi pertinente que la sécurité réelle des piétons. En effet, avec la volonté et le besoin de plus en plus grandissant dans les villes du monde de promouvoir la marche et les transports actifs, il apparaît

essentiel d'améliorer l'expérience des piétons. Un individu qui se sent en sécurité à pied vis-à-vis des autres usagers de la route aura, sans nul doute, moins de difficultés à choisir la marche comme mode de transport.

La problématique de la marche urbaine fait l'objet du premier chapitre de ce mémoire, tout comme la question de recherche et le détail du cadre conceptuel. Le deuxième chapitre présentera la méthodologie adoptée et en guise de résultats, le troisième chapitre inclut l'article scientifique lié à ce mémoire, en plus d'y présenter des modèles statistiques. Puis, le dernier chapitre discute des résultats au regard des écrits sur le sujet et propose des pistes de recherche futures.

CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE

1.1. La pérennité de la pratique de la marche en ville

Alors que la définition générale de *marcher* est plutôt simple, exprimant le déplacement en mettant un pied devant l'autre (Larousse, 2019), l'origine de son utilisation en lien avec l'espace public ne l'est pas nécessairement. Tilander (1931) nous en fait la démonstration. Alors qu'il met en confrontation différents auteurs avec différents points de vue sur l'origine de ce mot, qui existent et se déclinent dans beaucoup de langues européennes, il conclut en faisant remonter la première utilisation de ce mot à la fin du XIIe siècle. *Marcher* signifiait alors *fouler*, pour prendre petit à petit le sens secondaire de *cheminer, aller*. Il explique que c'est dans un livre de chasse qu'il en retire sa première origine, où le terme est usité à « chaque fois qu'il parle des traces, des empreintes du pied que les bêtes laissent en marchant » (p.397). *Marcher* a ensuite été associé au *mouvement* par le biais des mots *outremarchier/entremarchier* signifiant « mettre les pieds de derrière devant ou entre ceux de devant » (p.403). Puis, entre autres sens qui lui seront accordés à travers les époques, c'est « surtout dans le langage militaire que *marcher* a fait fortune, et c'est dans ce sens que l'ont emprunté les autres langues européennes » (p.415). En effet, indiquant la marche ferme et précise des soldats, ce terme était bien présent dans le langage militaire dans le courant du XVe siècle. Finalement, par cette démonstration, on comprend que le terme de *marcher* peut définitivement se décliner dans nombre de domaines, avec la notion de *mouvement* qui lui est intrinsèque.

1.1.1. La marche : une activité urbaine primaire

Aujourd'hui, des siècles après son apparition, *marcher* reste un terme omniprésent dans le vocabulaire quotidien. Au-delà d'une pratique mécanique et naturelle des êtres humains, la marche, dans sa déclinaison nominale, est même une activité ludique voire sportive. Les randonnées, les promenades, les balades en nature, etc. sont des activités courantes mettant en exergue la pratique voulue et consciente d'une marche qui devient alors plus qu'un simple déplacement. Les villes n'échappent évidemment pas à ce phénomène. Au contraire, elles sont le berceau de marches toutes aussi différentes les unes que les autres. Amphoux (2004) nous

affirme même que « la marche est dans la nature de l'urbain » (p.140). En effet, lorsqu'on s'intéresse à la littérature de la marche urbaine, il est clairement admis que ces deux termes sont intimement liés.

Thomas (2007) nous expose les différents domaines à travers lesquels la marche urbaine est visitée dans la littérature. On se rend compte alors de la pluralité des approches possibles et cette diversité montre l'importance de la marche en ville. Que ce soit dans la « dimension physique et fonctionnelle du déplacement » par le biais de l'ingénierie et l'économie des transports, dans la « dimension esthétique du mouvement dans l'espace » à travers l'art et la littérature, dans la « dimension sociale de la mobilité urbaine » par les sociologues ou encore dans la « dimension sensible du cheminement », au croisement des sciences sociales et architecturales, la marche urbaine est évoquée. Ainsi, multiforme et analysable sous plusieurs angles, la marche urbaine est un sujet à part entière, qui « émerge à nouveau comme objet de recherche [...] après avoir occupé la littérature du début du XXe siècle » (Paquot 2004).

Thomas (2007) s'essaye donc à une définition de la marche urbaine, qu'elle considère comme « se reposant sur une mobilisation permanente des potentialités de la ville et des compétences cognitives, perceptives ou pratiques du piéton ». Ainsi, elle la définit comme étant « d'abord une activité d'ajustement entre les piétons et l'environnement ».

1.1.2. Des bénéfices sociétaux multiples

Mais marcher en milieu urbain n'est pas seulement un besoin, un loisir ou un geste mécanique, c'est également une activité avec des bénéfices diversifiés. Le thème du forum international des transports de l'OCDE de 2012 avait comme intitulé « Piétons : sécurité, espace urbain et santé » (FIT 2012). Les objectifs de ce forum, reporté dans le rapport de recherche associé, sont clairs et démontrent une attention particulière faite au développement d'environnements facilitant la marche. Leur premier objectif était de « souligner l'importance de la marche et la nécessité vitale de politiques favorisant la marche à tous les niveaux de l'aménagement national, local et urbain ». Pour argumenter en faveur de cette idée, ils nous reportent les coûts-bénéfices de la marche dans quatre domaines différents : la santé publique, l'environnement, le social et l'économique (Tableau 1).

Tableau 1.1 Bénéfices sociétaux de la pratique de la marche urbaine

Domaines dont la pratique de la marche urbaine apporte des bénéfices	Exemples de bénéfices concrets
Santé publique	<ul style="list-style-type: none">- Lutte contre la morbidité, la mortalité, l'obésité et les maladies liées à l'inactivité- Une meilleure santé apporte une baisse de dépenses de santé de la société- Diminution de la pollution sonore
Environnement	<ul style="list-style-type: none">- S'il y a un report modal, baisse de la congestion, de l'utilisation de l'automobile, etc. donc une baisse des gaz à effet de serre- Besoin de densité donc réduction de l'étalement urbain
Social	<ul style="list-style-type: none">- Améliore l'équité sociale en réduisant les inégalités en termes de mobilité et améliore l'accessibilité- Développement de la présence piétonne dans l'espace public donc procure un environnement plus sécuritaire
Économique	<ul style="list-style-type: none">- S'il y a un report modal, baisse du coût d'entretien et d'exploitation des véhicules- Lien entre présence piétonne et développement des magasins de proximité

Source : Auteur, adapté de FIT (2012).

Jan Gehl (2012) pousse cette réflexion encore plus loin en nous invitant, au-delà de seulement développer la marche urbaine, à repenser la manière dont les villes sont organisées. Il prône une « ville à échelle humaine », où les déplacements à pied se doivent d'être favorisés par rapport à l'automobile. En effet, selon lui, si l'on concentre l'urbanisme sur la dimension humaine, cela « renforcera la fonction sociale de l'espace urbain comme lieu de rencontre contribuant à l'émergence d'une société durable, ouverte et démocratique » (p.18). Également, toujours selon lui, « plus les gens sont incités à se déplacer à pied ou à vélo et à occuper l'espace urbain, plus le potentiel d'animation, de sécurité, de durabilité et de santé d'une ville s'accroît » (p.19). On le comprend donc, développer des environnements propices à la marche urbaine est bénéfique pour toute vie urbaine, et donc pour la société. Cette vision n'a pas toujours été au cœur de l'aménagement urbain, en particulier en Amérique du Nord, ce qui, aujourd'hui, rend complexe sa (re)mise en place.

1.2. Histoire de la forme urbaine : d'une ville piétonne à une ville motorisée

Nous l'avons donc vu, nombre de bénéfices sont associés à la marche en ville. Mais, pour pouvoir marcher en ville, justement, il faut un support, un ancrage, un milieu où le marcheur peut s'aventurer. C'est par ce biais que le cadre bâti prend tout son sens. En effet, selon Gourdon (2001), « la masse dense du cadre bâti canalise et souligne le mouvant alors que le mouvement trouve passage et orientation au sein de la masse bâtie. La forme urbaine y trouve donc sa double vocation : faire circuler le plus de flux possible de natures très différentes et faire toute leur place à des utilisations de l'espace utilisatrices et éventuellement interruptrices de ces flux ». La marche et la forme urbaine sont donc liées et évoluent conjointement. Il est alors pertinent de s'intéresser à leur développement historique pour en comprendre les enjeux et démontrer la manière dont la forme des villes aujourd'hui conditionne les aspects de la marche, et inversement.

1.2.1. Un développement historique des villes à l'échelle du piéton

Avant la révolution agricole, survenue environ il y a 12 000 ans, nos ancêtres les *Homo sapiens* étaient des nomades, chasseurs-cueilleurs et fourrageurs qui vivaient au fil des saisons et se déplaçaient de territoire en territoire pour vivre. La création de villes, ou même de villages, a donc été seulement possible lorsque ces fourrageurs sont devenus cultivateurs et donc sédentaires. On estime par exemple que 8 500 ans avant notre ère, le Moyen-Orient était parsemé de petits villages, dont Jéricho, sûrement une des plus grandes colonies de l'époque, avec seulement quelques centaines d'individus (Harari et Dauzat 2015). Depuis, les villes n'ont cessé de croître, jusqu'à atteindre des milliers puis des millions d'habitants au fil du temps. Elles ont commencé à être plus réfléchies et mieux organisées à l'Antiquité, époque à laquelle les premières trames urbaines remontent (Laterrasse 2018). Si l'on prend l'exemple de l'Europe, deux principes étaient alors en vigueur. Le schéma en damier de l'Empire romain illustre leur vision militaire et leurs préoccupations de défense et de contrôle du territoire. On y trouvait une logique extensive avec une place centrale pour les fonctions logistiques comme le commerce, les fonctions politiques ou sociales. À l'inverse, les congrégations religieuses se tournaient vers le schéma radio-centrique, afin de reproduire dans l'organisation spatiale une vision de la société idéale. Le centre était alors occupé par une tour ou un lieu de culte et les parcelles autour étaient organisées en cercles concentriques (Laterrasse 2018).

Il est évident qu'à l'époque, seules la marche ou les charrettes tirées par les chevaux permettaient de se déplacer, les villes étaient donc conçues à cette échelle. Ce système a perduré jusqu'à la fin du Moyen-Âge puis dans une certaine mesure à la Renaissance. Le développement des villes à l'extérieur des remparts reproduisait alors sans grande modification les anciens schémas antiques. La véritable mutation urbaine commença avec la révolution industrielle (Laterrasse 2018).

1.2.2. Le XXème siècle : passage à une ville axée sur l'automobile

En 1764, la révolution industrielle commence en Grande-Bretagne (Britannica 2020). La machine à filer le textile est inventée. Rapidement, la machine à vapeur en améliore et accélère le fonctionnement permettant une production manufacturière à grande échelle. La croissance est exponentielle et l'industrialisation est en marche, d'abord en Europe puis en Amérique du Nord. Majoritairement concentrée en milieu urbain, cette industrialisation nécessite de la main-d'œuvre. S'en suit alors un exode rural massif et par conséquent une rapide augmentation de la population urbaine. Les nouvelles réalités urbaines deviennent alors incompatibles avec la trame urbaine du Moyen-âge (Laterrasse 2018). Ainsi, de nouvelles réflexions commencent sur la ville industrielle, et surtout sur la place accordée à la fonction circulatoire, qui devient le cœur du processus de transformation urbaine. À Barcelone, mené par l'architecte Cerda, une partie de la ville est alors conçue comme un lieu qui combine fonction résidentielle et fonction circulatoire, avec une forme en damier plus large, en opposition à la ville moyenâgeuse, congestionnée et propice aux épidémies. À Paris, Haussmann pense la ville avec la préoccupation d'articuler la fonction circulatoire, essentielle pour l'activité économique, avec les autres fonctions urbaines. Il conçoit alors des percées de boulevards avec des places, combinant trames en damier et trames radio-centriques (Laterrasse 2018). Ajouté à cela, il se développe des réseaux de transports en commun afin de satisfaire les besoins de circulation des travailleurs et des marchandises. Voies de chemin de fer, omnibus, tramways et métros se multiplient dans les grandes villes industrielles du monde. Puis, arrive en 1908 à Détroit la Ford Model-T, première automobile assemblée grâce à la méthode de la ligne de montage (Britannica 2020). Devenant de plus en plus accessible, la voiture se démocratise. Aux États-Unis, le Model-T se vendait à seulement 170 000 exemplaires en 1912 alors qu'en 1924, c'est plus de la moitié des 17 millions d'automobiles vendues dans le pays qui étaient des Ford T (Schwartz et Rosen 2015).

À mesure que les voitures se vendaient et donc se multipliaient dans les rues, les conflits entre usagers de la route se développaient également, en particulier en Amérique du Nord (Schwartz et Rosen 2015). Comment concilier et partager l'espace de la ville? Avec des poids, des vitesses, des volumes et des pratiques différentes, les usagers des routes se retrouvaient dans un même espace, mais pas avec les mêmes caractéristiques, le *jaywalking*¹ devenant une pratique problématique par exemple (Norton 2007). Il fallait donc cadrer et normer le partage de l'espace afin d'améliorer cette cohabitation. En effet, aux États-Unis, pendant les années 1920, les accidents de voiture ont causé plus de 20 000 décès par an, et plus des deux tiers étaient des piétons (Schwartz et Rosen 2015). Des campagnes anti-voitures ont commencé à se développer. Par exemple, des graphiques illustrant des collisions en lien avec des enfants et des jeunes femmes étaient utilisés pour la cause, tout comme des bandes dessinées dénonçant les conducteurs (Schwartz et Rosen 2015). Face à ces protestations, une coalition s'est alors formée entre les acteurs du milieu de l'automobile (constructeurs, clubs automobiles, industrie pétrolière, etc.). Ils ont ainsi fait pression pour convertir les rues avec une mixité d'usage en artères pour les véhicules. Afin de concilier les deux points de vue, le président américain Herbert Hoover, alors secrétaire du commerce, organisa en 1924 la première conférence nationale portant sur la sécurité des rues et routes américaines (Seo 2019). La principale conclusion de cette conférence était que les citoyens ne connaissaient pas nécessairement les lois et règlements mis en place ponctuellement, sous l'égide des villes, ce qui créait la confusion et l'incompréhension. Il fallait donc fédéraliser les règlements pour en faire quelque chose d'uniforme (Seo 2019). Ainsi, les lois types qui ont émergé comprenaient des dispositions concernant des limitations de vitesse et les passages à niveau uniformes, mais aussi des systèmes normalisés pour la construction de routes. Le Comité de l'ingénierie et de la construction américain a finalement déterminé que le rouge devrait être utilisé pour signifier *arrêt*, le vert pour *avancer* et, plus tard, le jaune pour *avertissement*. Au Canada, c'est à Hamilton, en 1925, que le premier feu de circulation fut mis en place (Chittley 2015) alors qu'au Québec il a fallu attendre 1930, date à laquelle la ville de Montréal fait installer les premiers feux de circulation (GrandQuebec.com 2015).

Si l'on se fie aux études américaines post-conférence de 1924, elles montrent que les accidents ont continué après la mise en place de ces règles, mais avec un ralentissement notable (Seo 2019). En 1924, aux États-Unis, il y avait 100 morts pour 100 000 voitures immatriculées alors qu'en 1926, il y en avait 95 pour 100 000 voitures immatriculées. La figure 1.1 traduit cette dynamique, en montrant des chiffres en constante diminution tout au long du XXe siècle, à travers,

¹ Traduction française : traversée illégale

cette fois-ci, le nombre de décès par millions de milles parcourus. Toutefois, même si d'autres motivations ont pu guider la mise en place de ces dispositifs, accélérer et fluidifier le trafic par exemple, il est reconnu que ces mesures ont relativement amélioré la sécurité routière. Pourtant, la question de l'impact de ces règlements se pose, notamment pour ceux qui viennent transformer l'environnement bâti du milieu urbain.

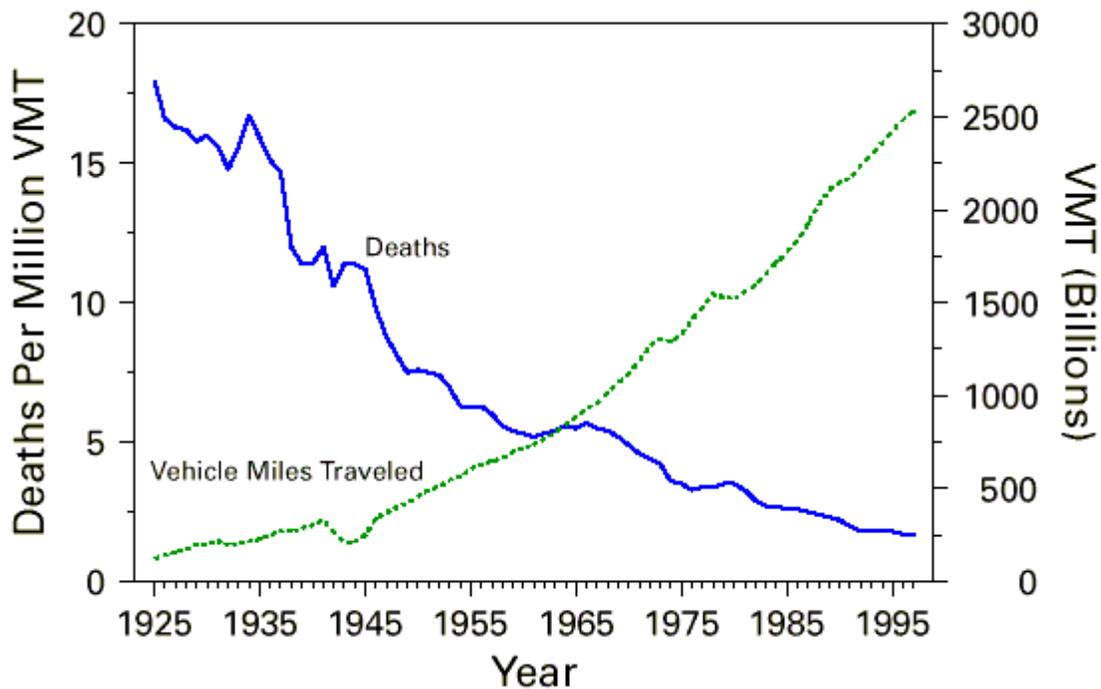


Figure 1.1. Graphique des décès (*deaths*) reliés aux véhicules motorisés aux États-Unis, entre 1925 et 1997, par millions de milles parcourus (*Vehicle miles traveled*) et les chiffres annuels de milles parcourus en million pour cette période.

Source : Centers for disease control and prevention (1999) <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm4818a1.htm>

1.3. La sécurité piétonne : un problème de santé publique important

Dans cette cohabitation entre les usagers qui s'est développée au fil du temps, la question de la sécurité routière a toujours été sous-jacente. Elle correspond globalement à l'évaluation du risque pour un usager de la route (piéton, cycliste, automobiliste, etc.) de perdre la vie ou de se blesser dans un accident de la route. Aujourd'hui, au-delà d'être un important problème de santé publique, cette question devient de plus en plus un phénomène social voire politique. En effet, l'ONU, sous l'impulsion du directeur général de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le docteur Tedros

Adhanom Ghebreyesus, a demandé à « chaque pays d'adopter rapidement les mesures éprouvées permettant de sauver des vies » (ONUinfo 2020). C'était à Stockholm, en février 2020, lors d'une conférence ministérielle mondiale sur la sécurité routière (ONUinfo 2020). La déclaration officielle associée à cette conférence « invite les États membres à s'efforcer de réduire de 50% le nombre de décès consécutifs à des accidents de la circulation routière entre 2020 et 2030 [...] et à définir des objectifs pour diminuer le nombre de décès et de blessures graves pour tous les groupes d'utilisateurs de la route, en particulier les plus vulnérables, comme les piétons, les cyclistes, les motocyclistes et les usagers de transports publics » (ONUinfo 2020). C'est une avancée sociale à noter, d'autant plus que cette question de la sécurité n'a pas toujours été au centre des réflexions. Comme le rappelle Shinar (2017), « Forty years ago (...) safety was viewed by the automotive industry as something the public did not care about » (p.8). Aujourd'hui, cette sécurité routière fait partie des objectifs de développement durable de l'ONU.

1.3.1. Portrait actuel de la sécurité piétonne dans le monde

Jean Todt, l'émissaire désigné du secrétaire général de l'ONU pour la sécurité routière depuis 2015, rappelle, dans une lettre ouverte en janvier 2020, les chiffres liés aux accidents de la route. Chaque année, 1,35 million de morts sont comptabilisés sur les routes mondiales, et plus de 50 millions de personnes sont blessées ou handicapées à vie à la suite d'un accident (Todt 2020). Avec 3700 vies perdues chaque jour, les accidents de la route sont aujourd'hui la huitième cause de décès dans le monde (Todt 2020). La carte ci-dessous illustre la répartition de ces décès selon les types d'utilisateurs pour les différentes grandes régions du monde.

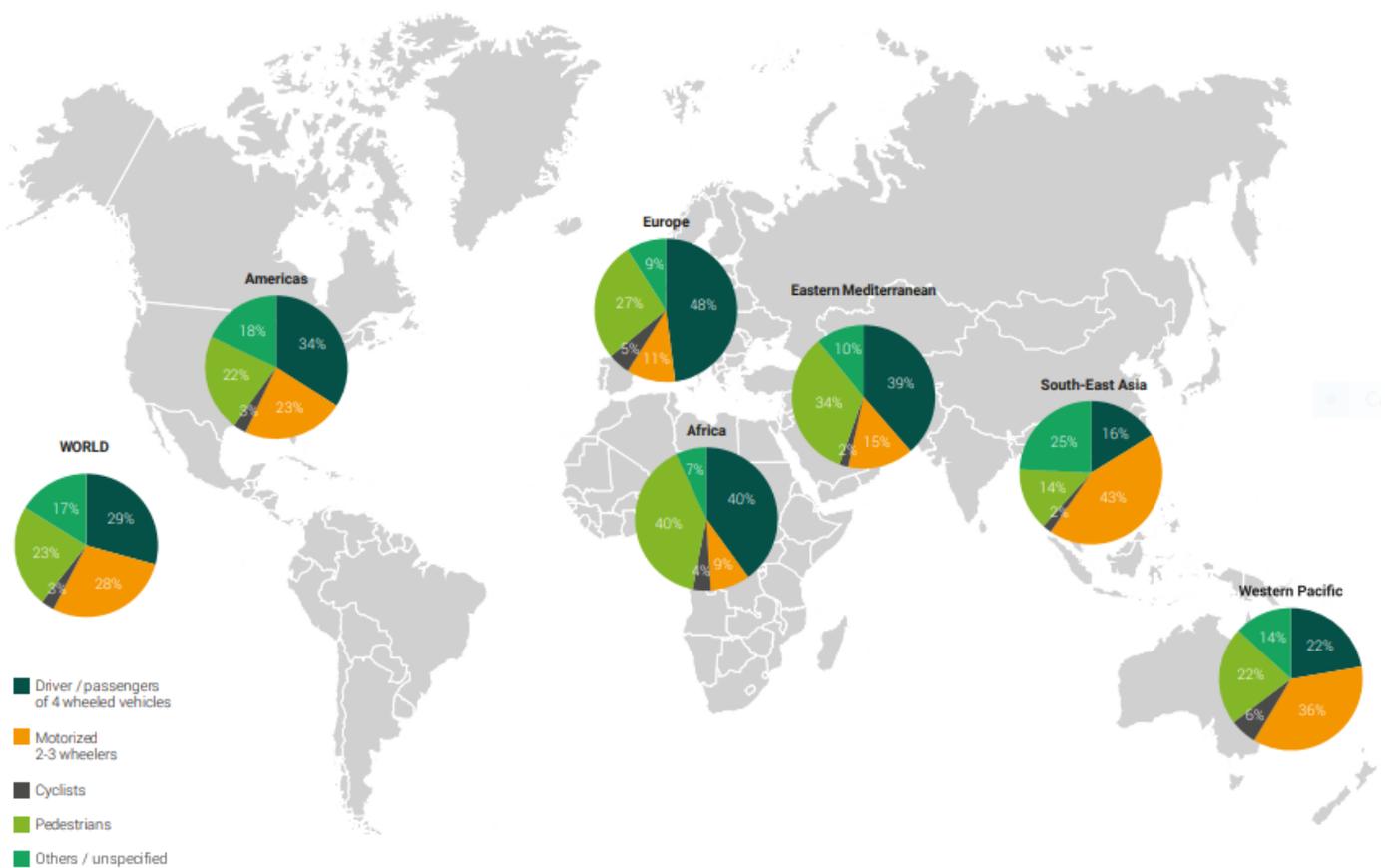


Figure 1.2. Répartition des décès selon le type d'usager de la route par continent

Source : OMS (2018a)

À la lecture de la figure 1.2, on remarque ainsi qu'au niveau mondial, ce sont les occupants des automobiles et les deux ou trois roues motorisées qui comptabilisent le plus de morts (29%). Puis, viennent ensuite les piétons, comptant pour environ un quart des décès, et enfin les cyclistes. On remarque cependant des disparités importantes selon les continents. Alors qu'en Afrique la part des piétons morts, comparée aux autres usagers de la route, culmine à 40%, en Asie du Sud-Est, cette part tombe à 14%. En Europe, elle est égale à 27%, alors que dans les Amériques, à 22%. Plus précisément au Canada, les piétons montent à la deuxième place du plus grand nombre de décès par usagers de la route, derrière les occupants de véhicules (Transport Canada 2018). Environ trois quarts de ces piétons morts le sont en milieu urbain (Road Safety Canada Consulting 2011)

La précision concernant les chiffres liés aux piétons est importante puisque ce sont, avec les cyclistes, les usagers les plus vulnérables au danger face aux véhicules motorisés. Shinar (2017) nous explique qu'en effet, quand ils sont impliqués dans un accident, ils ont deux désavantages non négligeables. D'une part, ils sont totalement exposés, sans aucune protection « physique » face à une collision, contrairement aux automobilistes qui sont dans une « boîte de métal ». D'autre part, la différence de masse défavorable entre les piétons et les voitures ou camions qui les percutent, les rend particulièrement vulnérables. Ces deux facteurs augmentent la probabilité d'être sérieusement blessé ou tué lors d'une collision, comparativement aux autres usagers de la route. Il rajoute que les piétons et les cyclistes partagent d'autres caractéristiques qui les distinguent des occupants des véhicules. En effet, ils constituent un groupe plus hétérogène dû à leur éventail d'âge plus important, à leur portée cognitive, visuelle et motrice qui est plus variable et leur conformité avec les règles et lois de la sécurité qui est également plus fluctuante. Il conclut en remarquant que « all of these differences make them – especially pedestrians – much more difficult to protect. Thus, in many respects pedestrian safety is much more complicated than occupant safety » (Shinar 2017, p. 851). S'intéresser à la sécurité de ces usagers plus vulnérables est donc une nécessité. Dans ce travail, c'est plus précisément à la sécurité des piétons qui nous intéresse

1.3.2. Portrait actuel de la sécurité piétonne au Québec

Si l'on s'intéresse plus précisément à notre zone d'étude – le Québec, et plus particulièrement ses deux plus grandes villes – on remarque que la vulnérabilité des piétons face à la sécurité routière est bien présente. Tout d'abord, au niveau provincial, les chiffres de 2019 sont plutôt défavorables. En effet, comparé à la moyenne de la période 2014/2018, le nombre de décès chez les piétons est en augmentation de plus de 19%, le total se portant à 71 piétons morts (SAAQ 2020a). Puis, si l'on détaille les chiffres par région administrative², on se rend compte que les résultats sont assez différents. À Montréal, il y a eu 27 piétons décédés pendant l'année 2019, soit environ 1,3 piéton mort pour 100 000 habitants. C'est une augmentation de plus de 75% par rapport à la moyenne de la période 2014/2018. Dans la région de la Capitale-Nationale, soit celle

² Les données pour la ville de Québec sont compilées à l'échelle de la région de la Capitale-Nationale, qui comprend un plus grand territoire que l'aire urbaine de Québec. Les données propres à cette dernière sont peu disponibles, ce qui nous a poussé à prendre en considération toute la région administrative. Quant aux données de Montréal, elles comprennent toutes les municipalités de l'île de Montréal, et non pas seulement la Ville-centre. Ces nuances sont donc à prendre en considération dans la portée des résultats.

de Québec, c'est seulement 7 piétons décédés ; 0,9 piéton mort pour 100 000 habitants. Cela correspond à une augmentation de plus de 50% par rapport à la moyenne de la période 2014/2018. Alors qu'en proportion ces victimes piétonnes représentent 80% des décès de la route à Montréal, c'est seulement 25% dans la région de la Capitale-Nationale, derrière les conducteurs de véhicules. Lorsqu'on additionne ces décès avec les blessures légères et graves, la part des piétons descend à 18% à Montréal (58 piétons pour 100 000 habitants) et à 7% dans la Capitale-Nationale (26 piétons pour 100 000 habitants) (SAAQ 2020a). La situation semble donc plus critique pour les piétons à Montréal, surtout en ce qui concerne les accidents ayant causé la mort. Même si les réalités urbaines sont différentes entre les deux villes, notamment dans les manières de s'y déplacer (la part modale des déplacements piétons est plus importante à Montréal qu'à Québec – 11,5% dans l'agglomération de Montréal voire jusqu'à 30% au centre-ville (G. d. Québec 2018) et 9,5% pour l'agglomération de Québec-Lévis (G. d. Québec 2019)), la première fait tout de même face à une recrudescence des accidents de piétons ces dernières années. En 2019, selon le Service de Police de la Ville de Montréal, « le bilan des piétons tués dans les rues de Montréal est le plus important depuis 2010 » (Radio-Canada 24 décembre 2019). Le tableau 1.2. nous offre un résumé du bilan de ces différences.

Dans le même sens, le bilan routier et rapport d'activités de l'an un du Plan d'action Vision Zéro de la Ville de Montréal 2019-2021 (Ville de Montréal 2020) présente un portrait des différents scénarios de collisions. Les piétons décédés l'ont été soit lorsqu'un véhicule allait tout droit (46%), soit lorsqu'il effectuait un virage à gauche (25%) ou à droite (21%). Le reste était sur du domaine privé. Puis, si l'on regarde toutes les collisions (fatales ou non) impliquant tous les usagers de la route, 33% d'entre elles étaient entre un piéton et un véhicule. La grande majorité se produisait entre un véhicule qui avançait tout droit et un piéton qui traversait devant, à une intersection ou non. Les autres scénarios se produisaient lors d'un virage à droite d'un véhicule avec un piéton qui traverse ou lors d'un virage à gauche (Ville de Montréal 2020), donc à une intersection. Le tableau 1.3. résume ces données.

Tableau 1.2. Bilan 2019 des décès piétons au Québec, à Montréal et dans la Capitale-Nationale

Territoire (Nombre d'habitants 2019)	Nombre de piétons morts à cause d'un accident de la route (Nombre pour 100 000 habitants)	Variation en % par rapport à la moyenne 2014-2018	Part des décès piétons à la suite d'un accident de la route comparé aux décès des autres usagers
Province du Québec (8 557 000 hab.)	71 (0,8 décès pour 100 000 hab.)	+ 19,1%	21%
Région de Montréal (2 052 900 hab.)	27 (1,3 décès pour 100 000 hab.)	+ 75,3%	80%
Région de la Capitale-Nationale (750 645 hab.)	7 (0,9 décès pour 100 000 hab.)	+ 52,2%	25%

Source : Auteur, adapté de SAAQ (2020a)

Tableau 1.3. Bilan 2019 des différents scénarios de collisions impliquant un véhicule et un piéton à Montréal

Mouvements du véhicule	Nombre de collisions fatales avec un piéton sur le territoire de la Ville de Montréal, 2019	Part des collisions piétons-véhicules (fatales ou non-fatales) par rapport aux collisions totales de tous les usagers de la route sur le territoire de la Ville de Montréal, 2019
Véhicule qui avance tout droit	11	20,1%
Véhicule qui effectue un virage à droite	5	3,4%
Véhicule qui effectue un virage à gauche	6	10,6%
Autre (domaine privé)	2	Pas de données

Source : Auteur, adapté de Ville de Montréal (2020)

1.4. Impacts des caractéristiques individuelles et de l'environnement routier et bâti sur la sécurité des piétons

Dans le but de protéger les usagers vulnérables, nous avons vu l'apparition depuis quelques décennies de travaux de recherche sur l'influence de l'environnement bâti et routier et des caractéristiques individuelles sur la sécurité des piétons, mesurée généralement par le nombre de collisions. L'objectif de ces travaux est de comprendre et d'évaluer leurs influences afin de déterminer quels sont les environnements les plus propices aux collisions et les populations les plus vulnérables pour pouvoir, par la suite, proposer les améliorations les plus stratégiques à effectuer dans l'espace urbain pour réduire le risque de collision impliquant des piétons. Il est donc important de revenir d'abord sur les types de piétons les plus vulnérables en parlant des influences des caractéristiques individuelles sur la sécurité. Puis, concernant l'environnement bâti et routier, on peut diviser en trois « catégories » les facteurs de risque. Le premier est relié aux caractéristiques de l'environnement associées à la question de l'exposition (volume de piétons et de voiture, densité, etc.) et le deuxième à la trame urbaine (présence et type d'intersections, etc.). Puis, la gestion de ces intersections est la dernière catégorie de ces facteurs de risque (phasage des feux, etc.).

1.4.1. Influence des caractéristiques individuelles sur la sécurité des piétons

Certaines études se sont également intéressées aux effets des caractéristiques individuelles sur la sécurité des piétons dans des villes nord-américaines. Concernant l'âge, les jeunes adultes de moins de 30 ans auraient un plus fort potentiel de risque, tout comme les personnes âgées de plus de 65 ans, qui sont presque systématiquement considérées comme les plus à risque – limitations à la mobilité (Dai 2012 ; Dumbaugh et Rae 2009 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Ukkusuri et al. 2012). Aussi, les enfants et les personnes intoxiquées sont reconnues comme étant à plus haut risque, compte tenu de leurs limitations cognitives à comprendre le trafic (Dai 2012). Au niveau du sexe, certains auteurs (Dumbaugh et Rae 2009 ; Ukkusuri et al. 2012 ; Kim et al. 2008) n'ont pas trouvé d'association chez les adultes, sauf pour une étude qui rapporte que les hommes seraient plus à risque que les femmes (Dai 2012).

1.4.2. Les caractéristiques de l'environnement et la question de l'exposition dans l'explication du nombre de collisions

Une des mesures les plus fréquemment rapportées dans les écrits sur la sécurité des piétons dans des villes nord-américaines est celle concernant l'exposition, qui se définit globalement comme étant la quantité de trajets que les individus effectuent ou sont susceptibles d'effectuer à un endroit donné (Merlin, Guerra et Dumbaugh 2019). Les mesures directes de cette exposition sont par exemple le volume de piétons et de véhicules. Dans la littérature, on trouve une relation positive entre le nombre de collisions et le volume de trafic automobile (Dumbaugh et Rae 2009 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy 2011 ; Osama et Sayed 2017) et piéton (Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy 2011 ; Osama et Sayed 2017). Mais, il existe une deuxième manière de mesurer plus indirectement l'exposition. C'est notamment l'étude de la densité de la population et/ou d'emploi. Dans certaines études, ces densités sont aussi reliées à un risque d'accident plus élevé (Osama et Sayed 2017 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013), mais de moindre gravité. En effet, ces densités semblent induire plus de conflits, car il y a plus de flux, mais sans doute à une vitesse réduite, notamment en milieu urbain, donc les blessures sont moins sévères (Merlin, Guerra et Dumbaugh 2019).

Cette conclusion est en concordance avec les résultats concernant les types de rues les plus à risque de décès. En effet, ces dernières sont celles qui ont une vitesse élevée, comme les artères, les rues à plusieurs voies ou encore celles plus larges, et celles concentrées près des zones commerciales et industrielles (Dumbaugh et Rae 2009 ; Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy 2011 ; Osama et Sayed 2017 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Ukkusuri et al. 2012), contrairement aux rues locales qui sont moins présentes dans les bilans routiers (Osama et Sayed 2017 ; Ukkusuri et al. 2012). En fait, même si ces types de rues les plus à risque sont moins accessibles aux piétons et donc avec un taux de conflits moins important, les sévérités sont beaucoup plus importantes. La vitesse augmente la distance de freinage et baisse la vision des conducteurs, ce qui accentue donc leur dangerosité (Merlin, Guerra et Dumbaugh 2019). D'ailleurs, une étude a trouvé que plus les rues étaient larges, plus le risque d'accident était élevé (Ukkusuri et al. 2012).

Le type d'occupation du sol semble avoir un impact également : alors que la présence de grandes surfaces commerciales et la forte mixité d'occupations du sol semblent augmenter le risque de collision impliquant un piéton, les rues avec des commerces de détail à l'échelle du piéton semblent le diminuer (Dumbaugh et Rae 2009 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Cho,

Rodríguez et Khattak 2009). Ces résultats sont à relier avec les facteurs précédents, puisque ces espaces à l'échelle du piéton sont souvent associés une vitesse moindre des véhicules et aussi avec une augmentation de la vigilance des conducteurs (Merlin, Guerra et Dumbaugh 2019). Dans les quartiers résidentiels, le risque d'accident s'avère également être moindre (Osama et Sayed 2017 ; Ukkusuri et al. 2012).

Également, le statut socio-économique de la population se révèle être significatif. Par exemple, une étude à Philadelphie a montré que les quartiers les plus pauvres avaient les moins bons résultats de sécurité (Guerra, Dong et Kondo 2019). Jermprapai et Srinivasan (2014) ont également eu les mêmes conclusions à travers leur étude en Floride. Ils ont également démontré que les secteurs de recensement avec proportionnellement plus de personnes avec un diplôme recensaient moins d'accidents. Il est important de mettre en relation ces données avec celles de l'exposition, encore une fois. En effet, Yu (2014) a démontré, dans son étude à Austin, que le niveau de revenu et l'ethnicité d'un territoire jouaient un rôle relativement plus important que l'environnement bâti dans la quantité de trajets à pied, donc dans le volume piéton. Alors, comme Merlin, Guerra et Dumbaugh (2019) le résumant, les influences directes des facteurs socio-économiques ne sont pas claires, car il y a sans doute plus de chances que les habitants de ces quartiers plus pauvres marchent ou fassent du vélo, ce qui a un impact certain sur l'exposition.

1.4.3. Intersections urbaines et sécurité piétonne

La littérature s'est également intéressée à explorer la relation entre la sécurité et la trame urbaine, notamment à travers l'étude des intersections. D'ailleurs, à travers les différents scénarios de collisions, on entrevoit une récurrence des collisions aux intersections. En effet, à Montréal, environ 60% des piétons blessés le sont aux intersections (Fernandes 2014). Cela concorde avec la littérature puisque certains auteurs ont trouvé que le risque d'accident aux intersections était plus important (Ukkusuri et al. 2012 ; Dumbaugh et Rae 2009), mais lorsqu'il s'agit d'une intersection à seulement trois rues (en T), la relation est inverse (Ukkusuri et al. 2012 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013). Pour les accidents menant à un décès, une des études montre que les intersections sont au contraire plus « sécuritaires » (Dumbaugh et Rae 2009). En effet, les véhicules doivent réduire leur vitesse dans ces espaces, notamment pour effectuer un virage, ou encore arrêter pour respecter la signalisation : les accidents y sont moins mortels puisque la vitesse joue un rôle important dans la sévérité des accidents, comme évoqué dans la section précédente. Tout de même, il semble que les intersections soient des lieux névralgiques pour la

sécurité des piétons, d'autant plus que le Code de la route québécois oblige les piétons à « traverser aux intersections et aux passages pour piétons » (SAAQ 2020b). Les intersections concentrent donc les flux piétons puisqu'elles restent le choix privilégié pour traverser la rue, accentué par une morphologie urbaine majoritairement en trame orthogonale en milieu urbain, notamment à Québec et à Montréal.

1.4.4. Régulation des flux aux intersections : phasage des feux de circulation

Pour réguler les différents flux d'usagers de la route et réduire le risque d'accident aux intersections, les autorités peuvent utiliser les feux de circulation. Le tableau 1.4 ci-après décrit ce que doivent être les visuels de ces feux sur le territoire québécois selon les normes prescriptives du ministère des Transports du Québec.

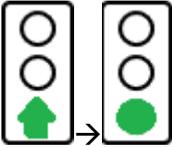
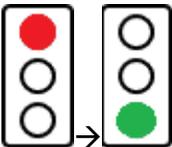
Tableau 1.4. Visuels des feux piétons au Québec

	<p>La silhouette blanche fixe indique à un piéton qu'il peut traverser la chaussée dans le passage réservé à cette fin. Il doit traverser avec prudence en prêtant une attention particulière aux véhicules pouvant effectuer un virage. Le décompte numérique indique la durée totale accordée aux piétons pour traverser l'intersection.</p>
	<p>La main clignotante orange accompagnée d'un décompte numérique indique à un piéton qu'il peut s'engager sur la chaussée seulement s'il est en mesure d'atteindre le trottoir de l'autre côté de la rue (ou la zone de sécurité dans le cas d'une traversée en deux temps) avant que le feu passe à la main orange fixe.</p>
	<p>La main clignotante orange non accompagnée d'un décompte numérique indique à un piéton qui a déjà commencé à traverser qu'il doit presser le pas jusqu'au trottoir de l'autre côté de la rue ou à la zone de sécurité. Le piéton ne peut s'engager sur la chaussée s'il n'a pas déjà commencé à traverser.</p>
	<p>La main orange fixe indique à un piéton qu'il ne peut s'engager sur la chaussée. Le décompte numérique indique 0 lorsque la main orange fixe est affichée. Dans cette situation, le piéton se doit d'attendre la prochaine silhouette blanche.</p>

Source : Transports Québec (2020).

Ajouté à cela, si un feu piéton est associé au feu de circulation, un choix est donné au gestionnaire du réseau routier dans la manière dont ces feux sont programmés. On appellera ces types de fonctionnement comme étant des « phasages de feux », c'est-à-dire comment les différentes phases piétonnes et véhiculaires (feu vert, jaune, rouge) se superposent dans le temps dans ce qu'on appelle un « cycle » de feux, qui inclut toutes les phases. Le tableau 1.5 détaille trois types de phasage possibles.

Tableau 1.5. Phasage et visuel des feux de circulation et des feux piétons au Québec

Phasage	Description du phasage	Visuel du feu véhicule	Visuel du feu piéton
Mode protégé	Tous les piétons de l'intersection ont comme feu la silhouette blanche en même temps tandis que tous les véhicules ont un feu rouge, leur interdisant tous les mouvements. Il est à noter que malgré la présence des feux piétons dans toutes les directions, la traversée en diagonale est interdite.		
Mode temporairement protégé	Certains mouvements de véhicules sont interdits durant la première partie de la phase piétonne, puis permis par la suite. Par exemple, la flèche verte vers l'avant (mouvement tout droit) est utilisée simultanément avec la silhouette blanche au début du cycle des feux pour donner le temps aux piétons de s'engager dans sa traversée. Par la suite, la flèche tout droit se change en feu vert permettant de tourner dans toutes les directions.	 OU 	
Mode non protégé	Certains mouvements de véhicules sont permis durant la phase piétonne. Par exemple, les véhicules ont le feu vert et les piétons la silhouette blanche au même moment.		

Source : Auteurs, données adaptées de Transports Québec (2020)

Le choix du phasage est laissé à la discrétion des municipalités pour les intersections sur leur territoire, dans le réseau routier sous leur juridiction. Les villes de Montréal et de Québec ont ainsi choisi des approches complètement différentes. Alors que Montréal a majoritairement adopté le « mode temporairement protégé », avec la présence d'une flèche verte tout droit puis d'un vert plein, Québec a préféré le « mode protégé ». Notons tout de même que l'arrivée du virage à droite au feu rouge a modifié cette notion de « mode protégé » puisqu'il est interdit à Montréal, mais autorisé à certaines intersections à Québec, ce qui signifie que les automobilistes peuvent tourner à droite sur un feu rouge, pendant la phase piétonne (silhouette blanche), bien qu'ils doivent respecter la priorité piétonne.

1.4.5. Phasage des feux et sécurité des piétons

Dans la littérature, la présence de ces différents types de programmation des feux de circulation et des feux piétons semble faire une différence sur la sécurité des piétons, quoique les études ne soient pas nombreuses. Tout d'abord, il a été démontré dans une étude effectuée à Vancouver que la présence de feux piétons, peu importe le type de phasage, diminuait le risque de collisions comparativement à des intersections sans feux piétons (Osama et Sayed 2017). En ce qui a trait aux phasages, les résultats d'une étude montréalaise ont démontré que le mode protégé réduit les accidents de 24% alors que le mode partiellement protégé augmente de 28% ce risque (Stipancic et al. 2020). Une autre étude, cette fois-ci aux États-Unis, dans le Connecticut, a également montré que les phases exclusives étaient associées à moins d'accidents que les autres phasages (Zhang et al. 2015). Également, des études ont été menées sur l'influence du mode temporairement protégé (incluant la flèche tout droit), appelé Lead Pedestrian Interval en anglais. Saneinejad et Lo (2015) nous présentent un résumé des études sur ce sujet et elles arrivent à la conclusion que le mode temporairement protégé a un impact positif sur la sécurité piétonne par rapport au mode non protégé. Par exemple, une étude américaine a démontré que l'implantation de ce phasage dans dix sites en Pennsylvanie a résulté en une diminution d'environ 58% des accidents entre véhicules et piétons (Fayish et Gross 2010). Une autre étude, cette fois-ci en Floride, à Saint-Petersburg, a démontré que la probabilité d'un conflit pour un piéton avec un véhicule qui quitte le trottoir au début de sa période était réduite de 95% lorsque un mode partiellement protégé était présent, comparé au mode d'origine non protégé (Van Houten et al. 2000). Le système de phasage a donc un impact sur la sécurité piétonne, mais la littérature recense également d'autres facteurs de l'environnement bâti et routier qui influencent la sécurité des piétons, en particulier aux intersections.

1.5. Question de recherche

1.5.1. Lacunes dans les recherches actuelles

On l'a donc vu, nombre d'études nous démontrent des liens entre la sécurité piétonne et les caractéristiques individuelles des piétons et l'environnement bâti et routier. Cependant, la grande majorité de ces résultats sont basés sur des données de collisions et rendent ainsi compte seulement de la sécurité *réelle*, et non pas de la sécurité ressentie. Dans la littérature, il y a peu d'études qui s'intéressent au sentiment de sécurité des piétons (Rankavat et Tiwari 2016 ; Kummeneje et Rundmo 2019 ; Lord et al. 2018). Or, il est essentiel de s'y intéresser pour deux raisons principales. La première repose sur le fait que les villes veulent de plus en plus améliorer l'expérience piétonne. Rendre la ville sécuritaire et agréable pour les piétons passe inévitablement par leur donner ce même sentiment. Dans ce but, il est essentiel de ne pas seulement améliorer la sécurité réelle, mais aussi de réduire la perception du risque, d'où l'intérêt de cette étude. En effet, si les individus ne perçoivent pas la traversée d'intersections à pied comme étant sécuritaire, ils vont être moins enclins à choisir la marche comme mode de déplacement. La deuxième raison est celle important de connaître le sentiment de sécurité des piétons en complément de la sécurité réelle pour avoir un portrait plus complet des environnements à risque. En effet, Cho, Rodríguez et Khattak (2009) considèrent que le sentiment de sécurité et la sécurité sont liés et doivent être étudiés conjointement. Par exemple, leurs résultats montrent que les résidents d'un quartier ont généralement un risque perçu plus important que le risque réel de leur quartier. Cela crée alors une défiance vis-à-vis de leur quartier, alors ils ont tendance à moins y marcher ou en tout cas à y faire plus attention. Cette défiance a pour conséquence de créer un taux d'accident sous-estimé comparé au risque potentiel du quartier (Cho, Rodríguez et Khattak 2009). Ils considèrent qu'il faut donc prendre cela en considération dans la planification.

Également, l'influence spécifique des phasages des feux sur le sentiment de sécurité a été très peu étudiée. Or, comme évoquées dans les sections précédentes, les deux villes de Montréal et de Québec en ont adopté deux systèmes de gestion totalement différents. Aucune étude n'a encore étudié ni comparé leurs performances sur le sentiment de sécurité, il est donc important de le faire afin d'accroître le corpus scientifique sur ce sujet.

1.5.2. Questions de recherche

Dans le but de bonifier les travaux actuels sur le sentiment de sécurité des piétons, l'objectif de cette étude est donc de déterminer quels sont les facteurs qui influencent le sentiment de sécurité des piétons aux intersections avec des feux de circulation, et ce, dans deux villes qui ont adopté des systèmes de protection des piétons différents. La question de recherche est la suivante, incluant deux sous-questions :

Quelle influence ont les facteurs liés à l'environnement bâti et routier et aux individus sur le sentiment de sécurité des piétons aux intersections, en termes de risque vécu et de risque perçu?

Est-ce que les spécificités des intersections, notamment le phasage des feux piétons, ont une influence sur le risque vécu et perçu? Les environnements à risque sont-ils les mêmes que ceux procurant un sentiment d'insécurité?

1.6. Cadre conceptuel

Notre question de recherche implique de mobiliser quatre concepts que nous allons définir en détail dans cette section. La figure 1.2 les résume schématiquement. D'un côté, l'objectif principal est d'évaluer le *sentiment de sécurité* qu'éprouve un piéton sur la chaussée. Nous proposons ici deux indicateurs indépendants, mais qui sont complémentaires pour mesurer le *sentiment de sécurité* : le risque perçu et le risque vécu. Ils sont détaillés dans la première sous-partie de ce chapitre. D'un autre côté, nous voulons également déterminer les facteurs qui influencent ce sentiment de sécurité. Pour cela, on a retenu deux concepts de la revue de littérature. Il s'agit des facteurs relatifs à l'environnement bâti et routier ainsi que ceux correspondant aux caractéristiques individuelles des piétons. La deuxième sous-partie de ce chapitre détaillera ces concepts.

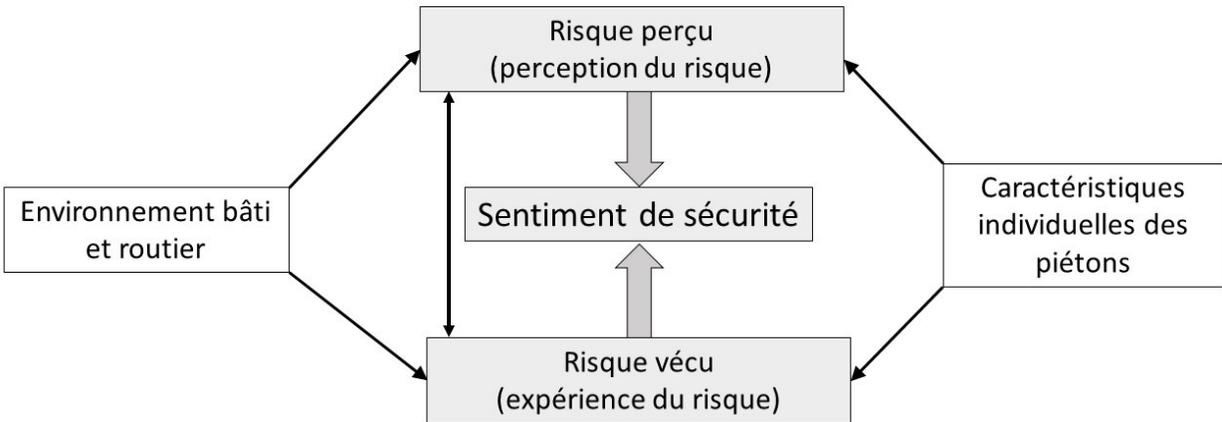


Figure 1.3. Schéma synthétique du cadre conceptuel

Source : Auteur

1.6.1. Sentiment de sécurité : risque perçu et risque vécu

Le concept de perception du risque (ou risque perçu) est au cœur des écrits sur le sentiment de sécurité. Venant de la psychologie, ce concept a largement été étudié, notamment par Slovic (1987), et est défini comme étant le jugement intuitif du risque qu’ont les citoyens. Deux types de risques sont alors mis en avant. Le premier, c’est le risque redouté – *dread risk*. Il correspond à la perception d’une perte de contrôle, d’une peur, d’un potentiel de catastrophe, de conséquences fatales ou d’une inéquitable distribution du risque par rapport aux bénéfiques, par exemple une guerre nucléaire. Également, plus il y a de gens exposés à ce risque, plus le risque est redouté. L’autre type de risque, c’est celui de l’inconnu – *unknown risk*. Il correspond à la perception d’un aléa jugé inobservable, inconnu, nouveau ou retardé dans sa manifestation de nuire, comme le risque relié à l’utilisation des pesticides. Par ailleurs, ces deux types de risque sont corrélés : un danger peut avoir une part de risque redouté ainsi que de risque inconnu. Chaque évaluation du risque par un individu revient donc à prendre en considération ces deux modalités et à les juger. Concernant notre sujet, la peur d’une collision ou de blessures reliées aux véhicules motorisés se situe généralement vers la peur d’avoir des conséquences dramatiques (risque redouté) plutôt

que vers le risque inconnu (Fischhoff et al. 1978). Mais, comment comprendre ce risque pour les individus? Et est-ce que ces perceptions du risque influencent les comportements des gens?

C'est le travail de Loewenstein et al. (2001) qui nous apporte une réponse intéressante à ces questions. Selon lui, deux facteurs influencent les décisions individuelles par rapport à leurs comportements. Il y a l'évaluation cognitive, qui dépend de réflexions objectives des protagonistes, qui estiment les probabilités des conséquences et évalue leur sévérité. L'autre facteur décisif d'influence est celui relié aux sentiments tels que la peur, la crainte, la terreur ou l'anxiété (Loewenstein et al. 2001). Qualifiées de réactions émotionnelles, leurs intensités dépendent des conséquences imaginées par l'individu, de l'expérience ou du passé des individus. Le risque perçu pour un piéton est donc la somme de son évaluation cognitive et de ses réactions émotionnelles. Ainsi, on évalue le risque, puis on prend la décision ou non de l'affronter. Par exemple, on évalue notre perception du risque de traverser la rue et l'on prend la décision de le faire ou non.

En plus de la composante « perçue », le sentiment de sécurité est également influencé par l'expérience du risque (Sanders 2015). Nous appelons ce dernier le « risque vécu », dénomination et définition similaires à ce que la littérature qualifie d'*interaction* ou de *quasi-accident (near misses* en anglais). Ce sont globalement des événements durant lesquels deux usagers de la route sont si proches qu'ils pourraient entrer en collision à quelques instants près. C'est l'étude de Sanders (2015), dans la région de San Francisco, qui met en évidence son potentiel pour mesurer le sentiment d'insécurité, spécifiquement pour les cyclistes. Ses résultats montrent que, par exemple, pour les cyclistes au quotidien, les *near misses* sont reliées à des craintes très précises comme le fait qu'un véhicule passe trop proche ou trop vite d'eux ou même qu'il leur coupe le chemin. Pour les cyclistes hebdomadaires, les *near misses* sont reliées à des craintes concernant toutes sortes de mouvements possibles de la part des autres usagers. Elle en conclut donc que la perception du risque d'un cycliste ne découle pas seulement d'incidents causant des blessures, mais aussi d'incidents qui auraient pu en causer, mais qui ne l'ont pas fait. Tout comme les cyclistes, les piétons sont en contact permanent avec les véhicules sur la chaussée, en particulier lorsqu'ils doivent traverser une intersection. Une étude antérieure britannique a d'ailleurs démontré que le taux d'incidents des cyclistes et des piétons ne différait pas significativement (un incident y était défini comme étant une interaction avec les autres usagers ayant causé une inquiétude, un mécontentement ou une action d'évitement ; une mauvaise condition de la chaussée pouvait également être considérée). Ces chiffres montraient même que ces deux usagers non motorisés avaient une perception du risque sept fois plus élevée que les

usagers motorisés (Joshi, Senior et Smith 2001). Les piétons étant autant confrontés à ce genre de situation que les cyclistes, ce concept s'applique donc tout à fait à notre étude. Le risque vécu est donc, en comparaison au risque perçu, l'exposition réelle face à un risque imminent.

1.6.2. Sentiment de sécurité et caractéristiques individuelles

Peu de travaux à ce jour ont étudié l'influence des caractéristiques individuelles des piétons sur leur sentiment de sécurité. Rankavat et Tiwari (2016) ont démontré, une association positive entre les endroits à fort risque réel – mesuré par le nombre de collisions, et un risque perçu élevé chez les jeunes (15 à 30 ans) et les personnes âgées (50 ans et plus). Il en va de même pour le sexe : les femmes ont une perception du risque plus élevée dans leur quartier de résidence, mais moindre lorsque le risque réel est important (Rankavat et Tiwari 2016). Même si l'étude a été effectuée en Inde, donc dans des réalités urbaines différentes de l'Amérique du Nord, les résultats sont tout de même intéressants à mettre en avant. Une autre étude en Amérique du Nord a démontré que, globalement, les hommes auraient un risque perçu plus faible que les femmes (Cho, Rodríguez et Khattak 2009). Une étude norvégienne s'intéressant aux propriétaires de voitures a démontré que les personnes qui ne possèdent pas de voitures seraient plus craintives d'être exposées à un risque en tant que piétons que les autres (Kummeneje et Rundmo 2019). Concernant le risque vécu, une étude a démontré que les personnes âgées de 65 à 79 ans avaient significativement plus d'interactions que les autres groupes d'âge. Dans la même étude, la lenteur de traversée était également associée à une plus forte proportion d'interactions, et cela à Montréal (Cloutier et al. 2017).

1.6.3. Sentiment de sécurité et facteurs environnementaux

Concernant le risque perçu, certaines études en France et en Inde ont trouvé que la vitesse, le volume du trafic et la présence de zones commerciales seraient des facteurs dans l'augmentation du sentiment d'insécurité (Granié et al. 2014 ; Rankavat et Tiwari 2016). À l'inverse, la proximité du centre-ville en France aurait un effet positif sur le sentiment de sécurité, tout comme la densité de piétons (Granié et al. 2014). La mixité fonctionnelle du sol et la compacité d'un quartier seraient également des facteurs déterminants dans un risque perçu moindre (Cho, Rodríguez et Khattak 2009). Puis, à propos du risque vécu, une étude montréalaise s'est intéressée aux interactions entre les piétons et les autres usagers de la route (Cloutier et al. 2017). Ses résultats montrent

que les rues à sens unique étaient associées à moins d'interactions alors que les rues artérielles ou collectrices et les intersections avec des feux de circulation et piétons étaient le lieu de plus d'interactions.

CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE

La première partie de ce chapitre détaille l'approche méthodologique adoptée pour répondre aux objectifs du mémoire ainsi que l'opérationnalisation des deux mesures du sentiment de sécurité. Ensuite, nous présentons les terrains d'étude, à savoir quelles sont les intersections visitées et comment nous les avons choisies. Enfin, nous reviendrons sur la manière dont les données ont été collectées et quelles analyses ont été faites pour les exploiter.

2.1. Approche méthodologique et opérationnalisation

2.1.1. Approche et outils méthodologiques retenus

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer quelles influences ont les facteurs de risque reliés à l'environnement bâti et routier et aux individus sur le sentiment de sécurité des piétons aux intersections, à Montréal et Québec. Pour ce faire, l'appel aux méthodes quantitatives est pertinent puisque la finalité de la recherche est de tester des théories établies à partir de la revue des écrits. Pour mener à bien ces analyses, il nous faut donc des variables qui sont l'expression quantitative de nos concepts. Afin de collecter les données nous permettant de les construire, les méthodes choisies sont celles des questionnaires sur rue et des observations non participantes. Elles sont respectivement associées à l'élaboration du risque perçu et du risque vécu. Leur pertinence et opérationnalisation sont détaillées dans les sections suivantes.

2.1.2. Mesure du risque perçu : questionnaire sur rue après la traversée du piéton

Afin de mesurer le risque perçu chez les piétons traversant une intersection, nous avons opté pour la méthode du questionnaire sur la rue. En effet, l'étude portant sur des intersections précises, nos répondants doivent les avoir expérimentées donc traversées. Ce type de collecte permet par conséquent de recueillir ces données directement dans le lieu précis, mais aussi directement après l'expérience de la traversée, ce qui permet d'avoir des réactions spontanées (sur le risque) de la part des piétons interrogés. Cela permet également de récolter les caractéristiques individuelles de ces derniers. Sur le terrain, le chercheur se poste donc à un coin de l'intersection et repère un piéton qui s'apprête à la traverser. Pour éviter une intervention des

chercheurs dans l'échantillonnage, les piétons qui ont traversé seront questionnés au hasard, sans aucune règle préétablie. L'observateur note le nom de l'intersection en question, la caractéristique de la traversée (si le piéton a traversé durant la phase piétonne ou non), les conditions météorologiques et si le piéton a une limite à la mobilité. Lorsque le piéton a fini de traverser, le chercheur l'aborde en se présentant et en lui demandant s'il accepte de répondre à un court questionnaire en lui expliquant rapidement l'objectif de l'exercice et du projet global. S'il n'accepte pas, le chercheur coche la case disant qu'il ne consent pas à répondre et il valide le sondage afin de pouvoir connaître par la suite la proportion de consentement. S'il accepte de répondre, le chercheur passe alors à travers le questionnaire, qui ne dure pas plus de cinq minutes. Notons que ce projet de recherche a obtenu au préalable un certificat éthique du Comité d'éthique et de la recherche (CER-19-504) de l'INRS, que l'on retrouve en Annexe 1.

Ce questionnaire comporte tout d'abord des sections portant sur les caractéristiques individuelles des piétons, à savoir leur âge, leur genre, leurs moyens de transport les plus fréquents, leur fréquence de traversée à l'intersection et s'ils habitent le quartier. Puis, la question « Décrivez-nous votre sentiment de sécurité à cette intersection? » leur est posée. C'est la variable utilisée pour déterminer le risque perçu, selon les trois réponses suivantes : *je me sens en sécurité lors de ma traversée; je dois faire attention quand je traverse ici; je trouve cette intersection dangereuse*. Les deux dernières modalités sont celles qui ont été recodées comme représentant un sentiment d'insécurité. Le tableau 2.1 reprend exactement les questions posées aux piétons³.

³ Le présent mémoire s'inscrit dans une étude plus large nommée STRAPI. Les variables utilisées pour répondre à nos objectifs sont seulement une partie du questionnaire total. (Voir site web du projet : <http://www.laps.ucs.inrs.ca/projet/strapi-systeme-de-gestion-des-traversees-pietonnes-aux-intersections-munies-de-feux-de-circulation-et-virage-a-droite-au-feu-rouge-etude-comparative-entre-quebec-et-montreal/>).

Tableau 2.1. : Questions posées et choix de réponses possibles dans le questionnaire sur rue

Questions posées	Réponses possibles	Codage pour l'analyse
Le répondant à une limitation quant à sa mobilité (poussette, canne, marchette, etc.)*	OUI - NON	Oui Non
Le piéton consent à répondre au questionnaire	OUI - NON	Oui Non
Traversez-vous régulièrement à cet endroit?	OUI – NON Si oui, la fréquence est : Quotidienne Hebdomadaire Mensuelle Moins fréquent	Oui – Quotidienne, hebdomadaire et mensuelle : Au moins une fois par mois Oui- Moins fréquent et Non : Jamais ou presque jamais
Êtes-vous familier avec le quartier?	OUI – NON Si oui, est-ce que vous : Y habiter? Oui - Non Y travailler? Oui - Non Y faites vos courses? Oui - Non Autre? Détailler.	Résident du quartier : Oui - Y habiter – Oui Non-résident du quartier : Autres réponses

Tableau 2.1 suite		
Quel est le mode de transport que vous utilisez le plus?	Marche – Vélo – Voiture – Transports en commun	Marche Voiture Vélo Transports en commun
Quelle est votre catégorie d'âge?	18-24 ans – 25-34 ans – 35-44 ans – 45-54 ans – 55-65 ans – 65 ans et plus – Ne veux pas répondre	Jeunes (18-24 ans) Adultes (25-65 ans) Séniors (65 ans et plus)
À quel genre vous identifiez-vous?	Femme – Homme – Autre – Ne veux pas répondre	Femme Homme
Décrire le sentiment de sécurité à cette intersection (mesure du risque perçu)	Je me sens en sécurité lorsque je traverse ici Je dois faire attention quand je traverse ici Je trouve cette intersection dangereuse	Insécurité : inclut « je dois faire attention quand je traverse ici » et « je trouve cette intersection dangereuse » Sécurité : inclut « je me sens en sécurité lorsque je traverse ici »

Source : Auteur

*Cette question est une observation faite par les observateurs avant d'aborder le piéton.

2.1.3. Mesure du risque vécu : observations non participantes de la traversée d'un piéton

Afin de rendre compte du risque vécu des piétons aux intersections, nous avons opté pour des observations non participantes. En effet, la méthode choisie pour mesurer ce risque vécu se base sur des études antérieures, qui mesurent les interactions entre les piétons et les autres usagers

de la route directement dans l'espace urbain (Tom et Granié 2011 ; Cloutier et al. 2017). La figure 2.1 illustre le travail de l'observateur (à gauche), qui suit du regard le piéton lors de sa traversée, et qui détermine s'il y a interaction lorsque la trajectoire d'un véhicule (vélo, voiture, camion, etc. : ligne rouge) se retrouve dans l'axe de traversée du piéton (ligne bleue), à deux mètres ou moins du piéton, lorsque celui-ci était encore sur la chaussée (Cloutier et al. 2017 ; Kaparias et al. 2015 ; Hosford, Cloutier et Winters 2020).



Figure 2.1 : Schématisation d'une interaction

Source : Auteurs, Street view (Google, 2019)

Sur le terrain, le chercheur se poste donc à un coin de l'intersection, de manière dissimulée, et repère un piéton qui s'apprête à la traverser. Il ne participe aucunement à l'expérience du piéton. Il l'observe de manière cachée, ce qui ne modifie pas le déroulement ordinaire de la traversée. Comme pour les questionnaires, afin d'éviter une intervention des chercheurs dans l'échantillonnage, les piétons qui traversent seront observés au hasard, sans aucune règle préétablie. Par conséquent, étant donné que c'est un échantillon d'individus que l'on va interroger, une quantité importante de piétons est alors nécessaire pour atteindre une représentativité statistique. Ensuite, après avoir choisi le piéton, l'observateur note le nom de l'intersection en

question. Puis, il regarde le piéton traverser, retient les informations pour n'en rater aucune et remplit par la suite la grille d'observation.

Cette dernière inclut d'abord une partie sur les caractéristiques individuelles du piéton, c'est-à-dire son groupe d'âge (tel qu'estimé par les observateurs), son genre, le nombre de piétons qui traversent avec lui et s'il a une aide à la mobilité. Puis, on note s'il y a eu une interaction ou non, telle que définie précédemment et dans la figure 2.1. On reporte également dans la grille d'observation, la distance (estimé par les observateurs) entre les deux usagers – *moins d'un mètre, entre un et deux mètres, plus de deux mètres*. Lorsque la distance était de moins de deux mètres, l'interaction est considérée plus dangereuse, ce sera donc notre variable pour déterminer le risque vécu. Le tableau 2.2 explicite les données exactes recueillies par les observateurs⁴.

⁴ Le présent mémoire s'inscrit dans une étude plus large nommée STRAPI. Les variables utilisées pour répondre à nos objectifs sont seulement une partie de la grille d'observation totale (Voir site web du projet : <http://www.laps.ucs.inrs.ca/projet/strapi-systeme-de-gestion-des-traversees-pietonnes-aux-intersections-munies-de-feux-de-circulation-et-virage-a-droite-au-feu-rouge-etude-comparative-entre-quebec-et-montreal/>)

Tableau 2.2 : Bilan des observations effectuées sur le terrain

Comportements ou caractéristiques à observer	Notations possibles	Codage pour l'analyse
Groupe d'âge	0-12 ans – 12-25 ans – 25-65 ans – 65 ans et plus	0. Jeunes (moins de 25 ans) 1. Adultes (25-65 ans) 2. Séniors (65 ans et plus)
Genre	Homme – Femme - Autre	1. Femme 0. Homme
Aide à la mobilité	Non applicable Canne-déambulateur-béquilles Chaise roulante (électrique ou non) Autre	1. Pas d'aide : Non applicable 2. Présence d'une aide : Canne-déambulateur-béquilles Chaise roulante (électrique ou non) - Autre
Nombre de piétons à traverser en même temps	Seul – de 2 à 4 piétons – 5 piétons et plus	1. Traversée seul (Seul) 2. Au moins avec une autre personne : (2-4 piétons, 5 piétons et plus)
Interaction	Si oui, Distance véhicule-piéton lors de l'interaction : Moins d'un mètre, entre un et deux mètres, plus de deux mètres	1. Interaction : Oui ET distance de moins d'un mètre, entre un et deux mètres 2. Pas d'interaction : Non / Oui ET distance de plus de deux mètres

Source : Auteur

Ainsi, que ce soit pour la mesure du risque vécu ou celle du risque perçu, une collecte sur le terrain est nécessaire. Les piétons observés et questionnés sont des piétons différents car il était impossible d'en faire une fusion (logistique entre observateurs, alternance des deux collectes, non-consentement de nombreux piétons à répondre aux questions, etc.). Avec plus de 3400 intersections entre Montréal et Québec, il nous est impossible d'y aller à toutes. Une sélection d'intersections à visiter doit donc être réalisée.

2.2. Choix des intersections

Pour représenter le mieux possible la diversité des environnements de traversées dans les deux villes du projet, il est important de choisir notre échantillon d'intersections à partir de certains critères. Pour ce faire, nous avons adopté une démarche en trois étapes. La première est celle de faire une classification ascendante hiérarchique afin de grouper les intersections selon leurs caractéristiques communes. Puis, une sélection aléatoire a été effectuée à partir de cette classification, nous permettant de faire un préterrain pour les valider et les trier. Enfin, à partir de ces résultats de préterrain et à travers une discussion des membres de l'équipe, les choix finaux ont été effectués.

2.2.1. Première étape : Classification par k-means

Afin de sélectionner les intersections pour la collecte, l'équipe du projet STRAPI a mis en place une base de données de toutes les intersections des deux villes pour ensuite les regrouper à partir d'une méthode de classification (*k-means*). Cette classification a été produite avec l'outil *Analyse des regroupements* d'ArcGIS, ce qui a généré quatre groupes, sans aucune fonction de contraintes spatiales (Environmental Systems Research Institute 2019a). Cette classification repose sur cinq variables provenant de la base de données de l'environnement bâti et routier préalablement construite donc calculées pour 3408 intersections des deux villes (Montréal = 2282; Québec = 1126). Les variables représentent des facteurs de risque de collisions (la présence d'au moins une rue à 50 km/h dans l'intersection; la présence d'au moins une rue à 40 km/h et moins dans l'intersection; le nombre de collisions passées entre 2011 et 2018 à une distance de 50 mètres de l'intersection) et des variables reliées à la présence piétonne (la présence d'arrêts d'autobus à l'intersection et la densité de population résidant dans un rayon de 500 mètres de l'intersection). Le tableau 2.3 présente la proportion des intersections pour chacun des groupes

et chacune des variables. Finalement, l'analyse de ces groupes ne s'est pas faite plus en détail dans ce mémoire car cette analyse n'a servi qu'à sélectionner les intersections.

Tableau 2.3. Résultats de la classification des intersections dans les deux villes à l'étude.

	Groupe 1 Intersections de type périurbaines	Groupe 2 Intersections urbaines de moyenne taille	Groupe 3 Intersections en secteur résidentiel dense	Groupe 4 Intersections en secteur résidentiel dense, avec du transport en commun et un historique de collision élevé
Nombre d'intersections (%)	1327 (39%)	1215 (36%)	551 (16%)	315 (9%)
Au moins une rue à 50km/h	99,5%	100%	0,00%	94,3%
Au moins une rue à 40km/h et moins	0,5%	99,4%	94,6%	61,9%
Nombre de collisions passées entre 2011 et 2018 à une distance de 50 mètres de l'intersection	1,09	1,59	1,60	8,8
Densité de population résidant dans un rayon de 500 mètres de l'intersection	9065,9	14219,3	15763,6	18488,3

Tableau 2.3 suite				
Présence d'arrêts d'autobus à l'intersection	49,6%	70,4%	57,3%	88,9%

Source : Données compilées par Pierre-Philippe Vézina, à partir de Environmental Systems Research Institute (2019a)

2.2.2. Deuxième étape : Validation préterrain

Le projet STRAPI prévoyait de choisir six intersections par groupe, afin d'avoir un échantillon de vingt-quatre intersections au total : douze à Montréal et douze à Québec. Le temps et la disponibilité pour la collecte et la préférence d'avoir beaucoup d'observations par intersection plutôt que beaucoup d'intersections ont été des facteurs décisifs dans ce choix.

En guide de préterrain (juin 2019), une sélection aléatoire d'une dizaine d'intersections par groupe et par ville a donc été faite afin de rendre plus appréhendable la manière de choisir ces intersections. On atteint donc, pour chaque ville, un total de quarante intersections à visiter sur le terrain pour observer trois éléments supplémentaires aux données de la classification :

1. **Présence importante de piétons** : Le premier est évidemment la présence de piétons, nécessaire pour une collecte efficace. L'idée est d'avoir une masse importante de piétons afin d'avoir le plus d'observations et de questionnaires possibles dans le peu de temps passé sur le terrain. Aussi, plus il y a de piétons, plus la diversité des comportements des individus est importante et donc plus les données recueillies sont représentatives de la population.

2. **Disposition des lieux à l'intersection** : Le deuxième élément nécessaire est d'ordre pratique pour la collecte. Il est impératif d'avoir un endroit proche de l'intersection où l'observateur peut être positionné d'une manière à voir les piétons en sécurité et relativement discrètement. Il faut donc avoir des abords de l'intersection relativement larges, avec du mobilier, des aménagements, de la végétation ou tout autre élément permettant d'avoir une certaine discrétion face à l'intersection, et être en sécurité.

3. Géométrie de l'intersection : Afin de faciliter et aider le choix, une caractérisation physique et géométrique des intersections est effectuée, permettant de préciser les quatre classes préétablies par la méthode k-means. Ainsi, lors du préterrain, plusieurs critères ont été répertoriés :

- La validation des signalisations et des cycles de feux (présence telle que décrite dans la base de données ou non)
- La largeur des voies, des traversées et des zones d'attente (en mètres)
- La présence d'aménagements modérateurs ou d'îlots, terre-pleins centraux, etc.
- Le marquage au sol
- La présence de lampadaires (pertinent pour l'hiver)
- Interdiction de virage à droite ou à gauche
- Chronométrage des différentes phases des feux de circulation et des feux piétons
- Caractérisation des feux piétons (présence d'un feu piéton ou non, présence d'un décompte numérique, etc).

Après un premier repérage effectué sur *Google Maps*, où la localisation, la sécurité, l'accessibilité et le potentiel de présence piétonne de l'intersection ont été évalués, vingt-six intersections à Québec et vingt-sept à Montréal ont été visitées lors du préterrain. Une grille a alors été mise en place pour l'effectuer (voir l'annexe 2). On y retrouve une section pour le comptage des piétons, la prise de photos pour documenter la disposition des lieux et finalement, les différentes mesures de géométrie et d'aménagement à l'intersection.

2.2.3. Dernière étape : Choix finaux

L'équipe du projet STRAPI a fait le choix final des douze intersections par ville à partir de la classification présentée plus haut, des résultats des préterrains et de leurs connaissances du territoire. Les intersections choisies devaient être relativement comparables entre Québec et Montréal, ce pour quoi l'équilibre entre les quatre classes citées précédemment n'a pas été retenu : c'est une paire d'intersections qui a été choisie dans le groupe 1, deux paires dans le groupe 2, une dans le groupe 3 et trois dans le groupe 4. En plus de ces paires provenant des mêmes groupes, l'équipe a choisi cinq paires avec deux intersections similaires lors du préterrain, mais ne provenant pas du même groupe. Au final, nous avons six intersections du groupe 1 (trois à Montréal et trois à Québec), six du groupe 2 (trois à Montréal et trois à Québec), quatre du groupe 3 (deux à Montréal et deux à Québec) et huit du groupe 4 (quatre à Montréal et quatre à Québec). Le tableau 2.4 présente les intersections choisies et leurs caractéristiques tandis que les figures 2.2 et 2.3 les présentent sur la carte des deux villes respectives. Les numéros d'intersection (devant chacun des noms) correspondent aux numéros sur la carte.

Tableau 2.4. Intersections retenues et les caractéristiques communes

Intersections de Montréal (Groupe)	Intersections de Québec (Groupe)	Type d'intersection	Types de voies	Type de rues	Autre caractéristique commune déterminante
1. Verdun - De L'Église (1)	13. Myrand - Chemin Sainte-Foy (1)	En croix	Au moins un sens unique	Rues locales	/
2. Beaubien - Saint-Laurent (1)	16. Saint-Jean - Clairefontaine (2)	En T	Au moins un sens unique	Une artère et une rue locale	/
3. Nazareth - Wellington (1)	21. Dorchester – Charest (4)	En croix	Au moins un sens unique	Deux artères passantes	/
4. Acadie – Louvain (2)	17. L'ormière – Blain (2)	En croix	Double-sens	Une artère	Une rue donne sur une zone commerciale
5. Hudson - Van-Horne (2)	18. Père Lelièvre – Masson (2)	En croix	Double sens	Rues locales	/
6. Côte-Sainte-Catherine – Lemieux (2)	19. Laurier - Père Vaultier (3)	En T	Double-sens	Une artère et une rue locale	/
7. Ontario – Létourneux (3)	14. 3ème avenue - 5ème rue (1)	En croix	Double-sens	Deux rues locales	Non-présence de feux piétons
8. Rachel – Laurendeau (3)	20. D'Estimauville - Des Mōqueurs (3)	En croix	Double-sens	Deux rues locales	Sortie de stationnement directement sur la rue – Piste cyclable
9. Jarry - Saint-Laurent (4)	15. Laurier - De L'Église (1)	En croix	Double-sens	Deux artères	/
10. Masson - Saint-Michel (4)	22. 1ère avenue - 41ème avenue (4)	En croix	Double-sens	Une artère et une rue locale	/
11. Mont-Royal - Saint-Denis (4)	23. René Lévesque – Hollande (4)	En croix	Double-sens	Une artère à plusieurs voies	Milieu résidentiel dense
12. Robert-Bourassa - Saint-Antoine (4)	24. Wilfried-Hamel – Bourdages (4)	En croix	Double-sens	Deux artères à plusieurs voies	Présence d'un terre-plein central

Source : Données compilées par l'auteur.

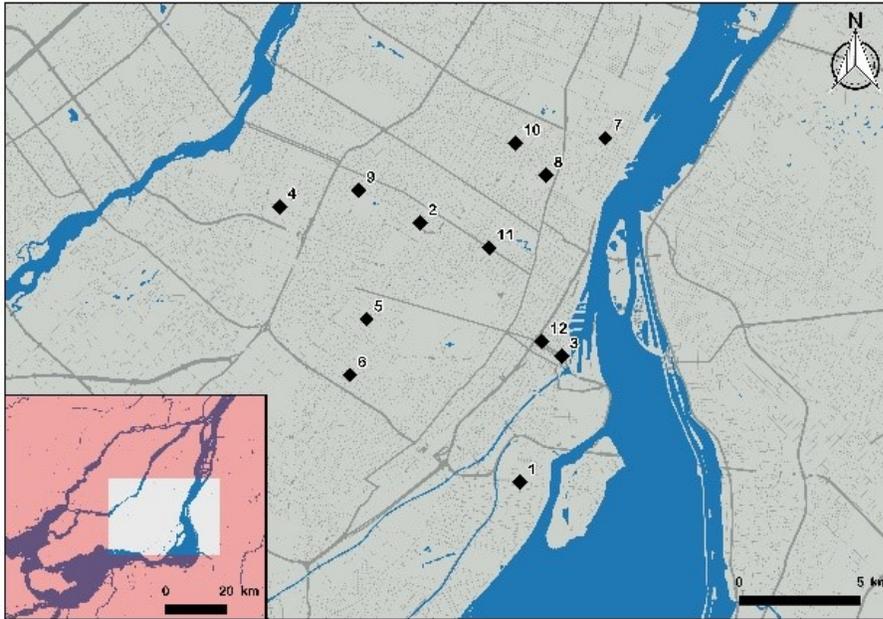


Figure 2.2. Localisation des intersections à Montréal

(Source des données : Statistique Canada, 2016 / Adresse Québec, 2016 - Production cartographique : Simon Turcotte)

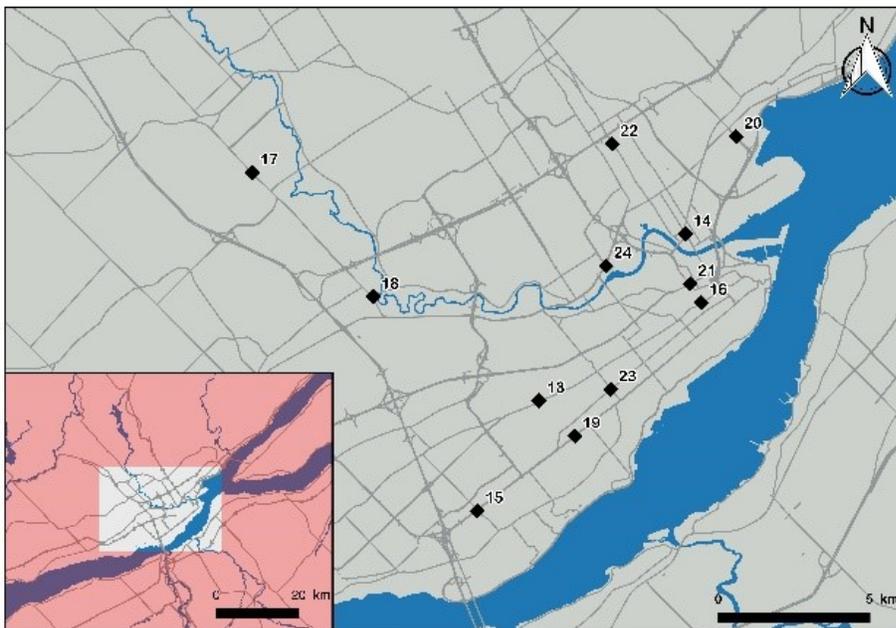


Figure 2.3. Localisation des intersections à Québec

(Source des données : Statistique Canada, 2016 / Adresse Québec, 2016 - Production cartographique : Simon Turcotte)

2.3. Collecte et analyse des données

2.3.1. Environnement bâti et routier : création d'une base de données à l'échelle de l'intersection

Une fois les intersections sélectionnées, nous nous sommes assuré d'intégrer dans une base de données les variables d'intérêt pour expliquer le sentiment de sécurité que nous avons identifiées dans notre revue des écrits scientifique. Ces données ont été recueillies grâce aux préterrains et à la disponibilité de données ouvertes diverses. Le tableau 2.5 présente ces variables, leurs modalités, leurs sources et les hypothèses en lien avec le sentiment de sécurité, incluant les auteurs qui ont déjà testé celles-ci, si applicables. De plus, afin d'évaluer s'il y a un impact du risque vécu sur le risque perçu, et inversement, les résultats des observations et des questionnaires seront reportés dans la base de données à l'échelle de l'intersection. En effet, pour chaque intersection, le pourcentage des interactions qui y auront été observées sera calculé et intégré dans les analyses comme une composante pouvant influencer le risque perçu. Ce sera la même manipulation pour le sentiment de sécurité reporté à travers les questionnaires ; le pourcentage d'insécurité ressentie sera calculé par intersection et intégré dans les analyses comme une composante pouvant influencer le risque vécu.

Tableau 2.5. Variables de l'environnement bâti et routier retenues

Types de variables	Variable	Modalité	Source	Hypothèse avec le sentiment de sécurité (Auteurs, si déjà testé)
Variables catégorielles	Virage à droite au feu rouge	Virage à droite au feu rouge à l'intersection autorisé (1) ou non (0)	Préterrain	Si autorisé, diminue le sentiment de sécurité
	Type d'intersection	Intersection en forme de T (1) ou en croix (0)	Préterrain	Intersections en T augmente le sentiment de sécurité
	Protection du piéton	Piéton non protégé (1), partiellement protégé (2) ou totalement protégé (3) pendant le phasage du feu	Préterrain	Piéton totalement protégé augmente le sentiment de sécurité
	Sens de circulation	Présence (1) d'au moins une rue à sens unique ou seulement double voie (0)	Préterrain	Les rues à sens unique augmentent le sentiment de sécurité (Cloutier et al. 2017)
	Occupation du sol	Occupation du sol résidentielle (1), commerciale à l'échelle du piéton (2), zone commerciale de grande surface (3) ou mixité résidentielle et commerciale (4)	Ville de Montréal Ville de Québec	Les zones commerciales sont associées avec un faible sentiment de sécurité comparé aux rues commerciales à l'échelle du piéton (Granié et al. 2014)

Tableau 2.5 suite				
Variables continues	Nombre de collisions	Collisions passées entre 2011 et 2018 à une distance de 50 mètres de l'intersection	Société de l'assurance automobile du Québec	Plus il y a un historique de collisions important, plus le sentiment de sécurité diminue (Rankavat et Tiwari 2016)
	Nombre de voies (variable discrète mais adaptée aux tests relatifs aux variables continues – Jusqu'à 13)	Addition du nombre de voies des rues dans l'intersection	Préterrain	Plus il y a de voies, plus le sentiment de sécurité diminue
	Note matérielle	Indice de défavorisation matérielle de l'INSPQ*	INSPQ - 2016	Plus la note matérielle est importante, plus le sentiment de sécurité augmente
	Note sociale	Indice de défavorisation sociale de l'INSPQ*	INSPQ - 2016	Plus la note sociale est importante, plus le sentiment de sécurité augmente
	Densité de population	Densité de population dans un rayon de 500 mètres (2016)	ESRI (Données de population / zone tampon)	Plus la densité de population est importante, plus le sentiment de sécurité augmente (Cho, Rodríguez et Khattak 2009)

Variables continues	Tableau 2.5 suite			
	Vitesse	Moyenne des vitesses maximales autorisées à l'intersection	Adresse Québec	Plus la vitesse est importante, plus le sentiment de sécurité diminue (Granié et al. 2014 ; Rankavat et Tiwari 2016)
	Périmètre	Addition des largeurs des voies de l'intersection (en mètres)	Préterrain	Plus il y a un périmètre important, plus le sentiment de sécurité diminue
	Distance au centre-ville	Distance à vol d'oiseau du centre-ville (en kilomètres). Pour Montréal, point de départ à la Place Ville-Marie et pour Québec à l'hôtel de Ville.	Préterrain (Google Earth)	Plus on est proche du centre-ville, plus le sentiment de sécurité est important (Granié et al. 2014)
	Volume piéton	Addition des traversées piétonnes selon les données de comptage des villes (heures disponibles de comptage : 7h-10h et 15h-18h)	Ville de Montréal Ville de Québec	Plus le volume de piéton est important, plus le sentiment de sécurité diminue (Granié et al. 2014)
	Volume véhicule	Addition des passages de véhicules selon les données de comptage des villes (heures disponibles de comptage : 7h-10 et 15h-18h).	Ville de Montréal Ville de Québec	Plus le volume de véhicule est important, plus le sentiment de sécurité augmente (Granié et al. 2014 ; Rankavat et Tiwari 2016)

Source : Données compilées par l'auteur

* Institut National de Santé Publique du Québec (Gamache, Hamel et Blaser 2019)

2.3.2. Collecte de données

La collecte de données a été effectuée pendant l'été 2019, dans les deux villes simultanément, à l'aide d'une équipe incluant deux observateurs par ville. Au total, chaque intersection a été visitée pendant trois périodes de trois heures, en semaine : à l'heure de pointe du matin (8h à 11h), à l'heure du dîner (11h30 à 14h30) et du soir (15h à 18h). Aussi, environ 10% des observations, correspondant à quatre périodes de trois heures à quatre intersections différentes dans les deux villes, ont eu lieu les après-midis de fin de semaine afin de recueillir des résultats plus complets, couvrant les sept jours de la semaine. Seulement la météo très inclémente (averses persistantes ou chaleur accablante) menait à un report de la période de collecte. Les deux observateurs alternaient les observations et les questionnaires, sauf pour des périodes d'une trentaine de minutes par intersection dédiées à des observations de fiabilité entre les observateurs. Pour les observations non participantes, ainsi que les questionnaires, l'observateur prenait place à l'intersection choisie et prenait note des observations ou des réponses aux questionnaires à l'aide de l'application *Survey 123* pour iPad (Environmental Systems Research Institute 2019b). Il est important de noter que l'intersection *Laurier – Père Vaultier* a été retirée des analyses par la suite, car finalement peu de piétons la traversaient, ce qui rendait les résultats inexploitable.

Afin de tester la concordance des observations faites par différents observateurs, des périodes d'*interjuge* d'une dizaine d'observations communes par intersection ont été effectuées, intra et intervilles, pour ensuite calculer des coefficients de *Kappa*. Les résultats de ces tests permettent de conclure que l'accord interobservateur est de qualité. Concernant la présence d'interaction, le taux de concordance se trouvait à près de 90% pour un coefficient de *Kappa* de 0,8 (accord substantiel). Pour la distance entre les véhicules et les piétons (moins d'un mètre, entre un et deux mètres et plus de deux mètres), le taux variait entre 63% et 86%, avec un coefficient de *Kappa* de 0,55 (accord modéré). Les autres variables ont quant à elles atteint des taux de concordance oscillant entre 60% et 80% et des coefficients de *Kappa* toujours à plus de 0,7 (accord substantiel). Les doublons créés par cet exercice ont été retirés de la base de données finale. En cas de discordance, le choix de l'observation à retenir était fait en fonction de l'observateur sénior dans chacune des villes.

2.3.3. Analyse bivariée et multiniveaux

La base de données finale pour les analyses contient 2561 observations de piétons à 23 intersections (1446 à Montréal et 1115 à Québec) et 631 questionnaires remplis sur la rue avec des taux de réponse de respectivement 35% et 48% pour Montréal (n=429) et Québec (n=202). Ces observations et questionnaires ont ensuite été combinés à la base de données des intersections. Nous aurons donc, dans la base de données finale à analyser, deux niveaux de données : le premier, à l'échelle de chaque piéton (caractéristiques individuelles et sentiment de sécurité), et le second à l'échelle de l'intersection (variables de l'environnement bâti et routier) où le piéton a été observé.

L'objectif est de déterminer quelles variables de l'environnement routier et bâti ou des caractéristiques des participants sont associées au risque vécu (interaction) et perçu (insécurité). Ces deux variables sont dichotomiques dans notre jeu de données, nous avons donc choisi dans un premier temps d'effectuer des analyses de type ANOVA pour les variables explicatives continues et des analyses de Khi carré pour celles catégorielles. Nous avons effectué trois analyses par risque – vécu et perçu – en utilisant d'abord toutes les observations, puis celles de Montréal et de Québec séparément afin de pouvoir comparer les villes entre elles. Ces analyses ont été effectuées dans R version 4.0.4. (R core team 2020).

Une fois des résultats obtenus pour les tests d'ANOVA et de Khi carré, nous avons poussé plus loin l'analyse en proposant une régression logistique multiniveaux sur les seules données du risque vécu (% interactions par intersection), pour les deux villes confondues. Les analyses bivariées induisant de prendre les variables une à une, il était intéressant de considérer toutes les variables explicatives en même temps, dans une même analyse statistique, pour déterminer si le constat est toujours le même. La régression logistique multiniveau s'est donc avérée être l'analyse la plus pertinente en raison du fait que nos données sont reliées à deux niveaux, soit le piéton observé (niveau 1) et les intersections où les observations ont été faites (niveau 2).

En fait, lorsqu'on s'intéresse à l'impact de l'environnement sur des individus, il faut faire attention à deux erreurs. La première, c'est l'erreur écologique, qui consiste à « interpréter au niveau individuel les résultats d'une modélisation effectuée à un niveau agrégé » (INED 2020). La deuxième, c'est l'erreur atomiste, qui consiste « à ignorer le contexte dans lequel évolue l'individu et étendre à la dimension du contexte un ensemble d'effets individuels » (INED 2020). Donc, pour

éviter ces erreurs, il est important d'adopter une analyse multiniveau pour évaluer les effets des deux niveaux en même temps, et ainsi savoir quel est réellement l'impact d'un en prenant en considération l'autre. Pour notre étude, d'un côté, nous avons des « caractéristiques » propres à chacun, ce qui est d'ordre individuel et de niveau 1. De l'autre côté, nous avons « l'environnement » qui s'applique, sur un territoire précis, à n'importe quel individu y transitant, correspondant au niveau 2. On peut rajouter que le sentiment de sécurité est également d'ordre individuel vu la façon dont nous avons collecté les données.

Nous nous sommes basés sur les résultats de l'analyse bivariée afin de savoir quelles sont les variables d'intérêt à mettre de l'avant, tout en effectuant une série de modèles avec différentes combinaisons de variables. L'objectif est de trouver le modèle le plus adéquat pour répondre à nos objectifs, mais aussi celui qui est statistiquement le plus significatif. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel statistique R Version 4.0.4. (R core team 2020).

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS

Le chapitre de résultat se divise en deux. Après avoir reporté le formulaire d'inclusion de l'article dans le mémoire, la première partie présente un article soumis et accepté à la revue *Recherche Transports Sécurité* en septembre 2020 et février 2021⁵ (version acceptée non corrigée). Nous sommes toujours en attente de sa publication (Annexe 3). La référence complète de cet article est la suivante :

Quintin, H., Cloutier, M.-S., Waygood, O. (*en attente d'acceptation*). Sécurité vécue et perçue par les piétons aux intersections signalées : comparaison entre l'environnement bâti, routier et le phasage des feux à Montréal et Québec, Canada. *Recherche Transport Sécurité*.

La seconde partie de ce chapitre présente succinctement les résultats de l'analyse multiniveaux.

⁵ Lien vers le site de la revue : <https://hal.archives-ouvertes.fr/RTS>

Formulaire d'inclusion d'un article au mémoire de maîtrise

1. Identification de l'étudiant

Nom, Prénom : Hugo Quintin

Code permanent : QUIH27089601

2. Description de l'article

Titre :	Sécurité vécue et perçue par les piétons aux intersections signalées : comparaison entre l'environnement bâti, routier et le phasage des feux à Montréal et Québec, Canada
Nom des auteurs :	Hugo Quintin Marie-Soleil Cloutier Owen Waygood
Revue avec comité de lecture	Recherche Transport sécurité
État du cheminement :	<input type="checkbox"/> Publié date de publication : _____ <input type="checkbox"/> Sous presse <input type="checkbox"/> Accepté moyennant modifications V Soumis
Résumé*	<p>De nombreuses études établissent une relation entre l'environnement bâti et la sécurité routière, mais peu s'intéressent au sentiment de sécurité des piétons. Cette recherche a pour but de comparer les systèmes de gestion des traversées piétonnes aux intersections avec feux de circulation à Montréal et à Québec (Canada). La priorité piétonne via des phasage exclusifs est une pratique systématique à Québec contrairement à Montréal, d'où l'intérêt de ces deux terrains d'étude. L'objectif est d'explorer la relation entre les caractéristiques des intersections et le risque vécu et perçu des piétons y traversant. Les données proviennent d'observations et de questionnaires in situ et ont servi à effectuer des analyses bivariées (Khi-carré et ANOVA). Nos résultats montrent que ce sont surtout les caractéristiques de l'environnement bâti et routier qui ont une influence sur la sécurité vécue et perçue. D'autres variables sont associées au risque vécu (ex. : vitesse, distance au centre-ville, densité de population) et perçu (ex. : volume de véhicule, nombre de voies). Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension des dynamiques aux intersections avec feux et à leur phasage, ainsi qu'à une meilleure évaluation des enjeux liés à l'insécurité ressentie des piétons.</p>

* Si l'article est écrit dans une autre langue que le français, veuillez inclure également un résumé en français.

3.1. Article : Sécurité vécue et perçue par les piétons aux intersections signalées : comparaison entre l'environnement bâti, routier et le phasage des feux à Montréal et Québec, Canada.

3.1.1 Introduction

Chaque jour, tous continents confondus, environ 3700 personnes perdent leur vie à cause d'un accident sur la route, le quart étant des piétons, troisième usagers les plus touchés après les automobilistes et les motocyclistes (Todt 2020 ; OMS 2018a). Au Canada, les piétons montent à la deuxième place du plus grand nombre de décès par usagers de la route, derrière les occupants de véhicules (Canada 2018). Environ trois quarts de ces piétons morts le sont en milieu urbain (Road Safety Canada Consulting 2011) et près d'un tiers aux intersections (Stipancic et al. 2020). Ainsi, les intersections en milieu urbain sont des zones à risque pour les piétons. Dans des villes où la trame urbaine est en majorité celle du quadrillage comme dans la province de Québec, au Canada, les intersections sont des passages obligés dans le cheminement piéton pour avancer dans la ville, ce qui a possiblement une influence sur la sécurité piétonne. Par exemple, à Montréal, près de 60% des piétons blessés le sont aux intersections (Fernandes 2014). Si l'on compare les chiffres de la sécurité routière de Montréal à la ville de Québec, qui se trouve dans la même province, on obtient des portraits différents. En 2018, 70% des décès de la route à Montréal étaient des piétons alors que ce pourcentage tombe à 25% à Québec. Lorsqu'on additionne ces décès avec les blessures légères et graves, la part des piétons est de 17% à Montréal et de 7% à Québec (SAAQ 2020a).

Même si la morphologie urbaine (plus dense à Montréal) et la part modale de la marche (plus faible à Québec) sont différentes entre les deux villes, on peut se questionner sur les raisons de ces écarts. Dans les écrits scientifiques, de nombreuses études nous donnent des réponses quant aux facteurs de risque impliquant des piétons (Merlin, Guerra et Dumbaugh 2019). Majoritairement basées sur les données de collisions, ces études documentent les impacts de l'environnement bâti et routier et brossent un portrait des caractéristiques individuelles des accidentés. Cependant, peu d'entre elles s'intéressent au sentiment de sécurité des piétons. Les environnements à risque sont-ils les mêmes que ceux qui procurent un sentiment d'insécurité? Les facteurs liés au risque de collision influent-ils également sur le sentiment de sécurité? L'intérêt de connaître ces modalités repose sur le fait que les villes veulent améliorer non seulement le bilan routier, mais aussi toute l'expérience piétonne. Aussi, s'intéresser au sentiment de sécurité

permet de le mettre en lien avec la sécurité réelle, et donc de dégager des connaissances utiles et d'en comprendre les enjeux pour mieux adapter par la suite l'espace urbain. Cho et al. (2009) considèrent d'ailleurs que le sentiment de sécurité et la sécurité sont liés et doivent être étudiés conjointement. Dans le but d'améliorer les travaux actuels sur les piétons, l'objectif de cet article est donc de déterminer quels sont les facteurs qui influencent leur sentiment de sécurité aux intersections des deux plus grandes villes du Québec.

3.1.2. Revue des écrits

Perception du risque et sentiment de sécurité

Nous proposons ici deux indicateurs nous permettant de déterminer le sentiment de sécurité des piétons : le risque perçu et le risque vécu. Tout d'abord, le concept de perception du risque (ou risque perçu) est au cœur des écrits sur le sentiment de sécurité. Venant de la psychologie, ce concept a largement été étudié, notamment par Slovic (1987), et est défini comme étant le jugement intuitif du risque qu'ont les citoyens. Deux types de risques sont alors mis en avant. Le premier, c'est le risque redouté – *dread risk*. Il correspond à la perception d'une perte de contrôle, d'une peur, d'un potentiel de catastrophe, de conséquences fatales ou d'une inéquitable distribution du risque par rapport aux bénéfiques, comme une guerre nucléaire. L'autre type de risque, c'est celui de l'inconnu – *unknown risk*. Il correspond à la perception d'un aléa jugé inobservable, inconnu, nouveau ou retardé dans sa manifestation de nuire, comme le risque relié à l'utilisation des pesticides. Mais, ces deux types de risque peuvent également être corrélés. En effet, un danger peut avoir une part de risque redouté ainsi que de risque inconnu. Alors, chaque évaluation du risque par un individu revient à trouver l'équilibre entre ces deux facteurs, auxquels il faut ajouter le nombre de personnes exposées à ce risque : plus il y a de gens exposés, plus le risque est redouté. Concernant notre sujet, la peur des véhicules motorisés se situe généralement vers la peur d'avoir des conséquences dramatiques plutôt que vers le risque inconnu (Fischhoff et al. 1978), mais comment prédire ce risque pour les individus? Et est-ce que ces perceptions du risque influencent leurs comportements? C'est le travail de *Loewenstein et al.* qui nous apporte une réponse intéressante à ces questions (Loewenstein et al. 2001). Selon lui, deux facteurs influencent les décisions individuelles. Il y a l'évaluation cognitive, qui dépend de réflexions objectives, comme les probabilités des conséquences ou l'évaluation de leur sévérité. L'autre facteur décisif d'influence selon *Loewenstein* est celui relié aux sentiments tels que la peur, la crainte, la terreur ou l'anxiété (Loewenstein et al. 2001). Ainsi, les réactions émotionnelles

correspondent à l'intensité avec laquelle les conséquences sont imaginées, à l'exposition personnelle au risque, à l'expérience ou au passé des individus. Le risque perçu pour un piéton est donc la somme de son évaluation cognitive et de ses réactions émotionnelles. Ainsi, on évalue le risque, puis on prend la décision ou non de l'affronter. Par exemple, on évalue notre perception du risque de traverser la rue et l'on prend la décision de le faire ou non.

D'autre part, le sentiment de sécurité est également influencé par l'expérience du risque (Sanders 2015). Ce qu'on appelle le « risque vécu » est ce qui peut faire augmenter l'insécurité réelle et donc qui participe à diminuer le sentiment de sécurité. Au-delà des perceptions individuelles, ce risque vécu peut se traduire en un indicateur mesurable, à partir du concept d'interaction (*near misses* en anglais). Une interaction est un évènement durant lequel deux usagers de la route (ici un piéton et un conducteur de véhicule) sont si proches qu'ils pourraient entrer en collision à quelques instants près. Par exemple, l'étude de Sanders (2015) dans la région de San Francisco met en évidence le potentiel des interactions pour mesurer le sentiment d'insécurité des cyclistes. Ses résultats montrent que, par exemple, pour les cyclistes au quotidien, les interactions sont reliées à des craintes très précises comme le fait qu'un véhicule passe trop proche ou trop vite d'eux ou même qu'il leur coupe le chemin. Pour les cyclistes hebdomadaires, les interactions sont reliées à des craintes concernant toutes sortes de mouvements possibles de la part des autres usagers. Elle en conclut donc que la perception du risque d'un cycliste ne découle pas seulement d'incidents causant des blessures, mais aussi d'incidents qui auraient pu en causer, mais qui ne l'ont pas fait. Tout comme les cyclistes, les piétons sont en contact permanent avec les véhicules sur la chaussée, en particulier lorsqu'ils doivent traverser une intersection. Une étude antérieure britannique a d'ailleurs démontré que le taux d'incident des cyclistes et des piétons ne différait pas significativement (un incident y était défini comme étant une interaction avec les autres usagers ayant causé une inquiétude, un mécontentement ou une action d'évitement ; une mauvaise condition de la chaussée pouvait également être considérée). Ces chiffres montraient même que ces deux usagers non motorisés avaient une perception du risque sept fois plus importante que les usagers motorisés (Joshi, Senior et Smith 2001). Les piétons étant autant confrontés à ce genre de situation que les cyclistes, le risque vécu mesuré par les interactions s'applique tout à fait à notre étude.

Il y a donc deux notions de risque dans notre article. Le premier est le risque perçu, qui fait appel à l'évaluation cognitive et aux réactions émotionnelles des individus face à un risque. Il y a donc un calcul intellectuel et des réactions individuelles pour déterminer le risque face à une situation, ce qui influence par la suite le sentiment de sécurité. Le deuxième est le risque vécu, qui est plutôt

l'exposition réelle face à un risque imminent par le biais d'une interaction. Cette expérience affecte la notion de risque de l'individu et a donc un impact sur son sentiment de sécurité. Les deux sont évidemment complémentaires pour évaluer le sentiment de sécurité.

Environnement bâti et routier

L'influence de l'environnement bâti et routier sur la sécurité des piétons, mesurée par le nombre de collisions passées, et sur le sentiment de sécurité a été étudiée sous divers angles dans les dernières décennies.

Une des mesures constantes dans les écrits sur la sécurité des piétons est celle concernant l'exposition. En effet, nombre d'études ont trouvé une relation positive entre le nombre de collisions et le volume de trafic automobile (Dumbaugh et Rae 2009 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy 2011 ; Osama et Sayed 2017) et piéton (Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy 2011 ; Osama et Sayed 2017). La densité – de population ou d'emploi – est aussi reliée à un risque d'accident plus élevé (Osama et Sayed 2017 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013), mais de moindre gravité. En effet, elle semble induire plus de conflits, mais sans doute à une vitesse réduite notamment en milieu urbain, donc les blessures sont moins sévères (Merlin, Guerra et Dumbaugh 2019). D'ailleurs, les types de rues les plus à risque sont celles qui ont une vitesse élevée, comme les artères, les rues à plusieurs voies ou encore celles plus larges, et celles concentrées près des zones commerciales et industrielles (Dumbaugh et Rae 2009 ; Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy 2011 ; Osama et Sayed 2017 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Ukkusuri et al. 2012), contrairement aux rues locales qui sont moins présentes dans les bilans routiers (Osama et Sayed 2017 ; Ukkusuri et al. 2012).

Les types d'occupation du sol semble avoir un impact également : alors que la présence de grandes surfaces commerciales et la forte mixité du sol semble augmenter le risque de collision impliquant un piéton tandis que les rues avec des commerces de détail à l'échelle du piéton semblent le diminuer (Dumbaugh et Rae 2009 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Cho, Rodríguez et Khattak 2009). Dans les quartiers résidentiels, le risque d'accident s'avère également être moindre (Osama et Sayed 2017 ; Ukkusuri et al. 2012).

Concernant les intersections, la littérature est plus nuancée. Certains auteurs ont trouvé que le risque d'accident aux intersections était plus important (Ukkusuri et al. 2012 ; Dumbaugh et Rae 2009), mais lorsqu'il s'agit d'une intersection à seulement trois rues (en T), la relation est à

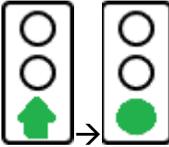
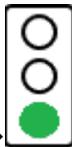
l'opposé (Ukkusuri et al. 2012 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013). En revanche, pour les accidents plus sévères menant à un décès, une des études montre que les intersections sont au contraire plus sécuritaires (Dumbaugh et Rae 2009). En effet, les véhicules doivent réduire leur vitesse dans ces espaces, notamment pour effectuer un virage, ou encore s'arrêter pour respecter la signalisation : les accidents y sont moins mortels puisque la vitesse joue un rôle important dans la sévérité des accidents. D'ailleurs, l'OMS recommande fortement d'avoir une législation pour diminuer la vitesse maximale autorisée, notamment en deçà de 50 km/h en ville, puisqu'elle a une « incidence directe sur le risque d'accident et la gravité des traumatismes, ainsi que sur la probabilité de décès des suites de l'accident » (OMS 2018b).

Pour ce qui est de la signalisation à l'intersection, *Osama et Sayed* ont démontré dans une étude effectuée à Vancouver que la présence de feux piétons diminuait le risque de collisions (Osama et Sayed 2017). De plus, la présence de différents types de programmation des feux de circulation et des feux piétons semble aussi faire une différence, quoique les études ne soient pas nombreuses. Le Tableau 3.1 présente les différentes phases possibles et le visuel des feux pour le territoire québécois tel qu'indiqué dans les normes de Transports Québec (T. Québec 2020). Suivant ces phasages, les résultats d'une étude montréalaise ont démontré que le mode protégé réduit les accidents de 24% alors que le mode partiellement protégé augmente de 28% ce risque (Stipancic et al. 2020). Une autre étude, cette fois-ci aux États-Unis, dans le Connecticut, a également montré que les phases exclusives étaient associées à moins d'accidents et à moins d'interactions que les autres phasages (Zhang et al. 2015). Également, des études ont été menées sur l'influence du mode temporairement protégé, appelé *Lead Pedestrian Interval* en anglais. *Saneinejad et Lo* nous présentent un résumé des études sur ce sujet et ils arrivent à la conclusion que le mode temporairement protégé a un impact positif sur la sécurité piétonne (Saneinejad et Lo 2015). Par exemple, une étude américaine a démontré que l'implantation de ce phasage dans 10 sites au centre du State College, en Pennsylvanie, a résulté en une diminution d'environ 58% des accidents entre véhicules et piétons (Fayish et Gross 2010). Une autre étude, cette fois-ci en Floride, à Saint-Petersburg, a démontré que la probabilité d'un conflit pour un piéton avec un véhicule était réduite de 95% lorsqu'un mode partiellement protégé était présent, comparé au mode d'origine non protégé (Van Houten et al. 2000).

Concernant les écrits scientifiques sur le sentiment de sécurité, ils sont moins nombreux et portent principalement sur l'influence de l'environnement bâti et routier sur le risque perçu. Certaines études ont trouvé que la vitesse, le volume du trafic et la présence de zones commerciales seraient des facteurs dans l'augmentation du sentiment d'insécurité (Granié et al. 2014 ; Rankavat

et Tiwari 2016). À l'inverse, la proximité du centre-ville aurait un effet positif sur le sentiment de sécurité, tout comme la densité de piétons (Granié et al. 2014). Le mélange d'occupation du sol et la compacité d'un quartier seraient également des facteurs déterminants dans un risque perçu moindre (Cho, Rodríguez et Khattak 2009). Finalement, une étude montréalaise s'est intéressée aux interactions entre les piétons et les autres usagers de la route, donc au risque vécu (Cloutier et al. 2017), et ses résultats montrent que les rues à sens unique étaient associées à moins d'interactions alors que les rues de type artères ou collectrices et les intersections avec des feux de circulation et piétons étaient le lieu de plus d'interactions.

Tableau 3.1. Phasage et visuel des feux de circulation et des feux piétons au Québec

Phasage	Description du phasage	Visuel du feu véhicule	Visuel du feu piéton
Mode protégé	Tous les piétons de l'intersection ont comme feu la silhouette blanche en même temps tandis que tous les véhicules ont un feu rouge, leur interdisant tous les mouvements. Il est à noter que malgré la présence des feux piétons dans toutes les directions, la traversée en diagonale est interdite.		
Mode temporairement protégé	Certains mouvements de véhicules sont interdits durant la première partie de la phase piétonne, puis permis par la suite. Par exemple, la flèche verte vers l'avant (mouvement tout droit) est utilisée simultanément avec la silhouette blanche au début du cycle des feux pour donner le temps aux piétons de s'engager dans sa traversée. Par la suite, la flèche tout droit se change en feu vert permettant de tourner dans toutes les directions.	 →  OU  → 	
Mode non protégé	Certains mouvements de véhicules sont permis durant la phase piétonne. Par exemple, les véhicules ont le feu vert et les piétons la silhouette blanche au même moment.		

Source : Auteurs, données adaptées de Transports Québec (2020)

Caractéristiques individuelles

Certaines études se sont également intéressées aux effets des caractéristiques individuelles sur la sécurité des piétons. Concernant l'âge, les jeunes adultes de moins de 30 ans sont considérés comme étant les plus à risque, tout comme les personnes âgées (Dai 2012 ; Dumbaugh et Rae 2009 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Ukkusuri et al. 2012). Au niveau du sexe, beaucoup d'auteurs n'ont pas trouvé d'association chez les adultes, sauf pour une étude qui rapporte que les hommes seraient plus à risque que les femmes (Dai 2012). Pour ce qui est de l'influence des caractéristiques individuelles sur le sentiment de sécurité, encore une fois, peu de travaux sont présents. Rankavat et Tiwari (2016) ont démontré une association positive entre les endroits à fort risque réel – mesuré par le nombre de collisions, et un risque perçu élevé chez les jeunes (15-30 ans) et les personnes âgées (50 ans et plus). Il en va de même pour le sexe : les femmes ont une perception du risque plus élevée dans leur quartier de résidence, mais moindre lorsque le risque réel est important (Rankavat et Tiwari 2016). Une autre étude a démontré que, globalement, les hommes auraient un risque perçu plus faible que les femmes (Cho, Rodríguez et Khattak 2009). Une étude s'intéressant aux propriétaires de véhicules a démontré que les personnes qui ne possèdent pas de voitures seraient plus craintives d'être exposées à un risque en tant que piétons que les autres (Kummeneje et Rundmo 2019).

Devant le peu d'études qui s'intéresse principalement au sentiment de sécurité, à la fois dans sa dimension perçue et celle vécue, l'objectif de cet article est de déterminer quelles sont les variables qui influencent le sentiment de sécurité vécu et perçu à l'échelle de l'environnement bâti et routier (incluant la signalisation aux feux de circulation) et des caractéristiques individuelles.

3.1.3. Méthodologie

Notre méthodologie implique quatre étapes, décrites ici : le choix des villes et des intersections à l'étude, la création des outils de collecte, la collecte de données sur le terrain et l'analyse des données.

Choix des villes et des intersections à l'étude

Comme mentionné précédemment, les villes de Québec et Montréal sont les plus peuplées de la province de Québec, mais leur bilan des collisions impliquant les piétons est différent à plusieurs égards, ce qui en fait des terrains d'étude intéressants. Par ailleurs, l'approche préconisée par les

pouvoirs municipaux de ces deux villes en ce qui a trait aux feux de circulation et aux feux piétons est distincte. Alors que Montréal a majoritairement adopté le mode partiellement protégé, avec la présence d'une flèche verte tout droit pendant quelques secondes avant le feu vert à une grande majorité de ses intersections, Québec a préféré fonctionner avec le mode protégé (véhicules tout au rouge pendant que les feux piétons sont actifs), incluant presque systématiquement des boutons d'appel. Une autre différence entre les deux villes est celle du virage à droite au feu rouge, autorisé sauf indication contraire à Québec, et interdit en tout temps sur l'île de Montréal.

Dans le but de collecter des données sur le terrain mesurant le sentiment de sécurité, nous avons sélectionné des intersections dans les deux villes choisies à partir d'une classification k-means⁶. Elle a été produite avec l'outil *Analyse des regroupements* d'ArcGIS, pour générer quatre groupes, sans aucune fonction de contraintes spatiales. Plus précisément, il s'agit d'une analyse *K-means* classique qui cherche à converger vers un minimum local de façon à minimiser les différences entre les entités. Cette classification repose sur cinq variables, préalablement calculées pour les 3408 intersections des deux villes (Montréal = 2282; Québec = 1126). Les variables représentent des facteurs de risque de collisions (la présence d'au moins une rue à 50 km/h dans l'intersection; la présence d'au moins une rue à 40 km/h et moins dans l'intersection; le nombre de collisions passées entre 2011 et 2018 à une distance de 50 mètres de l'intersection) et des variables liées à la présence piétonne (la présence d'arrêts d'autobus à l'intersection et la densité de population résidant dans un rayon de 500 mètres de l'intersection). Le tableau 3.2 présente la proportion des intersections pour chacun des groupes et chacune des variables.

Afin d'effectuer une analyse comparative entre les deux villes québécoises, il a été décidé de prendre douze intersections dans chaque ville. Le temps et la disponibilité pour la collecte et la préférence d'avoir beaucoup d'observations par intersections plutôt que beaucoup d'intersections ont été des facteurs décisifs dans ce choix. À partir des groupes, une sélection aléatoire a été effectuée pour s'assurer d'avoir des intersections semblables entre les deux villes. Des vérifications sur le terrain ont par la suite été faites pour s'assurer d'une présence piétonne et de la configuration des sites, et ainsi créer les paires d'intersections (Tableau 3.3, fig. 3.1, fig. 3.2). En plus des groupes présentés plus haut, la base de données des intersections inclut d'autres variables décrivant l'environnement bâti et routier à l'intersection et en périphérie. Le tableau 3.4

⁶ Le présent article s'insère dans un projet plus vaste d'analyse du risque aux intersections de Québec et Montréal (projet STRAPI), financé par divers partenaires (voir remerciements à la fin de l'article).

présente les variables catégorielles et continues, à l'échelle de l'intersection, qui sont incluses dans nos analyses.

Tableau 3.2. Résultats de la classification des intersections dans les deux villes à l'étude.

	Groupe 1 Intersections de type périurbaines	Groupe 2 Intersections urbaines de moyenne taille	Groupe 3 Intersections en secteur résidentiel dense	Groupe 4 Intersections en secteur résidentiel dense, avec du transport en commun et un historique de collision élevé
N (%)	1327 (39%)	1215 (36%)	551 (16%)	315 (9%)
Au moins une rue à 50 km/h	99,5%	100%	0,00%	94,3%
Au moins une rue à 40 km/h et moins	0,5%	99,4%	94,6%	61,9%
Nombre de collisions passées entre 2011 et 2018 à une distance de 50 mètres de l'intersection	1,09	1,59	1,60	8,8
Densité de population résidant dans un rayon de 500 mètres de l'intersection	9065,9	14219,3	15763,6	18488,3
Présence d'arrêts d'autobus à l'intersection	49,6%	70,4%	57,3%	88,9%

Tableau 3.3. Intersections sélectionnées pour les deux villes

Ville	Montréal	Québec
Groupe 1	Verdun – De L'Église (1)	Myrand – Chemin Sainte-Foy (13)
	Beaubien – Saint-Laurent (2)	3 ^{ème} avenue – 5 ^{ème} rue (14)
	Nazareth – Wellington (3)	Laurier – De L'Église (15)
Groupe 2	Acadie – Louvain (4)	Saint-Jean – Clairefontaine (16)
	Hudson – Van-Horne (5)	L'Ormière – Blain (17)
	Côte-Sainte-Catherine – Lemieux (6)	Père Lelièvre – Masson (18)
Groupe 3	Ontario – Létourneux (7)	Laurier – Père Vaultier* (19)
	Rachel – Laurendeau (8)	D'Estimauville – Des Mômeurs (20)
Groupe 4	Jarry – Saint-Laurent (9)	Dorchester – Charest (21)
	Masson – Saint-Michel (10)	1 ^{ère} avenue – 41 ^{ème} rue (22)
	Mont-Royal – Saint-Denis (11)	René Lévesque – Hollande (23)
	Robert-Bourassa – Saint-Antoine (12)	Wilfrid-Hamel – Bourdages (24)

*L'intersection Laurier – Père Vaultier a été retirée des analyses car peu de piétons la traversaient, ce qui rendait les résultats inexploitable.

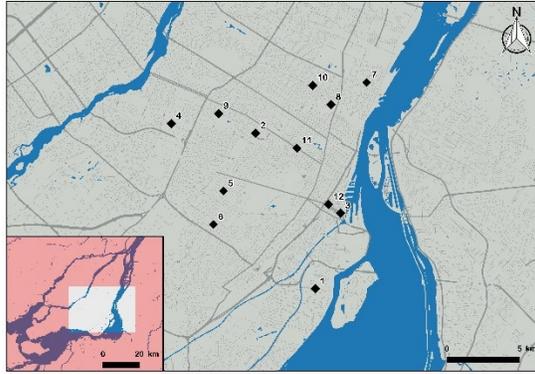


Figure 3.1. Localisation des intersections à Montréal.

Source : Statistique Canada, 2016 / Adresse Québec, 2016

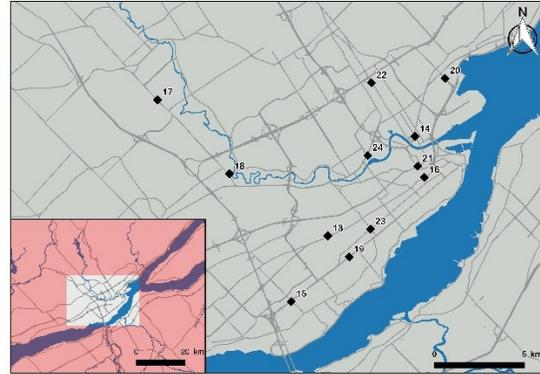


Figure 3.2. Localisation des intersections à Québec.

Source : Statistique Canada, 2016 / Adresse Québec, 2016

Tableau 3.4 Variables de l'environnement bâti et routier retenues

Type de variable	Variable	Signification
Variables catégorielles	Virage à droite au feu rouge	Virage à droite au feu rouge à l'intersection autorisé (1) ou non (0)
	Type d'intersection	Intersection en forme de T (1) ou en croix (2)
	Protection du piéton	Piéton non protégé (1), partiellement protégé (2) ou totalement protégé (3) pendant le phasage du feu
	Sens de circulation	Présence (1) d'au moins une rue à sens unique ou seulement double voie
Variables continues	Nombre de collisions	Collisions passées entre 2011 et 2018 à une distance de 50 mètres de l'intersection
	Nombre de voies	Addition du nombre de voies des rues dans l'intersection
	Note matérielle	Indice de défavorisation matérielle de l'INSPQ*
	Note sociale	Indice de défavorisation sociale de l'INSPQ*
	Densité de population	Densité de population dans un rayon de 500 mètres (2016)
	Vitesse	Moyenne des vitesses maximales autorisées à l'intersection
	Périmètre	Addition des largeurs des voies de l'intersection (en mètres)
Tableau 3.4 suite		

Variables continues	Distance au centre-ville	Distance à vol d'oiseau du centre-ville (en kilomètres). Pour Montréal, point de départ à la Place Ville-Marie et pour Québec à l'hôtel de Ville.
	Volume piéton	Addition des traversées piétonnes selon les données de comptage des villes (heures disponibles de comptage : 7h-10h et 15h-18h)
	Volume véhicule	Addition des passages de véhicules selon les données de comptage des villes (heures disponibles de comptage : 7h-10 et 15h-18h).

* Institut National de Santé Publique du Québec (Gamache, Hamel et Blaser 2019).

Création des outils de collecte

Une grille d'observation a été créée pour mesurer le risque vécu en se basant sur des études antérieures mesurant les interactions entre les piétons et les autres usagers de la route (Tom et Granié 2011 ; Cloutier et al. 2017). Cette grille inclut trois parties portant à la fois sur les caractéristiques individuelles du piéton, sur son comportement lors de la traversée, et sur la présence ou non d'une interaction lors de cette traversée. La présence d'une de ces interactions constitue notre mesure du risque vécu. La figure 3 illustre le travail de l'observateur (à gauche), qui suit le piéton lors de sa traversée, et qui détermine qu'il y a interaction lorsque la trajectoire d'un véhicule (vélo, voiture, camion, etc. : ligne rouge) se retrouve dans l'axe de traversée du piéton (ligne bleue), à deux mètres ou moins du piéton, lorsque celui-ci était encore sur la chaussée (Figure 3.3) (Cloutier et al. 2017 ; Kaparias et al. 2015 ; Hosford, Cloutier et Winters 2020).

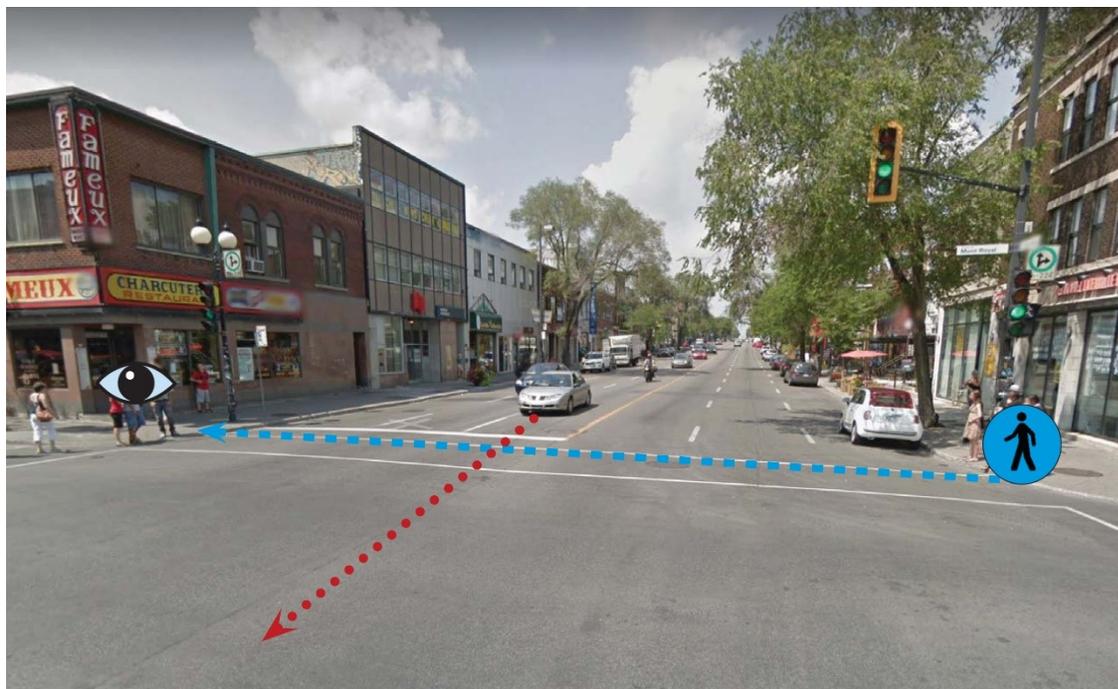


Figure 3.3. Schématisation d'une interaction

Source: Auteurs, Google Street View (Google, 2019)

Afin de mesurer la perception du risque chez les piétons traversant l'intersection, nous avons créé un court questionnaire qu'il était possible de faire remplir sur la rue, en interpellant les piétons après leur traversée. Le questionnaire comporte des sections portant sur les caractéristiques individuelles des piétons, la manière dont il a traversé, sa connaissance et sa perception du quartier et de l'intersection, son sentiment de sécurité et ses modes de transport les plus fréquents. La question « Décrivez-nous votre sentiment de sécurité à cette intersection » est la variable utilisée pour déterminer le risque perçu, selon les trois modalités suivantes : *je me sens en sécurité lors de ma traversée; je dois faire attention quand je traverse ici; je trouve cette intersection dangereuse*. Les répondants des deux dernières modalités sont ceux qui ont été recodés comme ayant un sentiment d'insécurité.

Collecte de données

La collecte de données a été effectuée pendant l'été 2019, dans les deux villes simultanément, à l'aide d'une équipe incluant deux observateurs par ville. Au total, chaque intersection a été visitée pendant trois périodes de trois heures, en semaine : à l'heure de pointe du matin (8h à 11h), à l'heure du lunch (11h30 à 14h30) et du soir (15h à 18h). Aussi, quelques observations (quatre

périodes de trois heures) ont eu lieu les après-midis de fin de semaine afin de recueillir des résultats plus complets, couvrant les sept jours de la semaine. Seulement la météo très inclémente (averses persistantes ou chaleur accablante) menait à un report de la période de collecte. Les deux observateurs alternaient les observations et les questionnaires, sauf pour des périodes d'une trentaine de minutes par intersection dédiées à des observations de fiabilité entre les observateurs. Pour les observations non participantes, l'observateur prenait place à l'intersection choisie, à un endroit plutôt discret d'où il pouvait voir entièrement ce qui s'y passait. Il choisissait au hasard un piéton montrant une intention de traverser à une des traversées de l'intersection et notait les caractéristiques de cette traversée à l'aide de l'application *Survey 123* pour iPad (Environmental Systems Research Institute 2019b). Pour les questionnaires, les piétons étaient systématiquement arrêtés après leur traversée et leur consentement à participer étant la première question posée. Le taux de réponse pour tous les sites et toutes les périodes était de 38% : 35% à Montréal et 48% à Québec.

Afin de valider les compétences des différents observateurs, des périodes d'*interjuge* d'une dizaine d'observations communes par intersection ont été effectuées, intra et intervilles, pour ensuite calculer des coefficients de *Kappa*. Concernant la présence d'interaction, le taux de concordance se trouvait à près de 90% pour un coefficient de *Kappa* de 0,8 (accord substantiel). Pour la distance entre les véhicules et les piétons (moins d'un mètre, entre un et deux mètres et plus de deux mètres), le taux variait entre 63% et 86%, avec un coefficient de *Kappa* de 0,55 (accord modéré), ce pour quoi nous avons décidé de recoder les réponses en deux catégories : 2 mètres et moins; et plus de 2 mètres). Les autres variables ont quant à elles atteint des taux de concordance oscillant entre 60% et 80% et des coefficients de *Kappa* à plus de 0,7 (accord substantiel). Pour la base de données finale, seules les observations faites pendant ces périodes par les deux observateurs principaux dans chacune des villes ont été gardées pour éviter les doublons.

Analyse des données

La base de données finale pour les analyses contient 2561 observations de piétons à 23 intersections (1446 à Montréal et 1115 à Québec) et 631 questionnaires remplis sur la rue avec des taux de réponse de respectivement 35% et 48% pour Montréal (n=429) et Québec (n=202).

L'objectif est de déterminer quelles variables de l'environnement routier et bâti ou des caractéristiques des participants sont associées au risque vécu (interaction) et perçu (sentiment d'insécurité). Ces deux variables sont catégorielles et dichotomiques dans notre jeu de données,

ce qui implique d'effectuer des analyses de type ANOVA pour les variables explicatives continues et des analyses de Khi-carré pour celles catégorielles. Nous avons effectué trois analyses par risque – vécu et perçu – en utilisant d'abord toutes les observations, puis celles de Montréal et de Québec séparément.

3.1.4. Résultats

Portrait des répondants

Concernant les observations, la moitié des piétons observés (51,4%) étaient des femmes et la majorité d'entre eux ont été classés dans le groupe d'âge des 25 à 65 ans (64,8%), suivi des jeunes entre 12 et 25 ans (21,3%), puis des séniors de plus de 65 ans (11,9%). Ensuite, environ 2% des piétons avaient une aide à la mobilité pour traverser, et ce, dans les deux villes. Enfin, alors que la moitié des piétons ont traversé sans la présence d'autres piétons à Montréal, ce ratio monte à 64% à Québec, les autres étant accompagnés d'au moins une personne.

Pour ce qui est des répondants au questionnaire sur la rue, un peu plus de la moitié étaient des femmes (52,5%), et les groupes d'âge suivent les mêmes proportions que pour les observations : 73% avaient entre 25 et 65 ans, 16,5% avaient entre 18 et 25 ans – il fallait être majeur pour répondre au questionnaire – et 10,5% avaient plus de 65 ans. Ce dernier résultat démontre la cohérence entre l'estimation du groupe d'âge par les observateurs et l'âge réel des piétons aux intersections visitées, bien que les deux bases de données ne puissent pas être appariées. Une faible proportion des répondants avait une limite à la mobilité à Montréal (6%) et à Québec (2%). Enfin, pour les deux villes, 80% des questionnés traversaient l'intersection au moins une fois par mois, donc la connaissaient, et un peu plus que la moitié – 58% à Montréal, 51% à Québec – étaient résidents du quartier.

Risque vécu : interactions entre piétons et véhicules

Sur les 2561 observations, 422 piétons, dont 302 à Montréal et 120 à Québec, ont été sujets à au moins une interaction à moins de 2 mètres d'un véhicule, soit environ 16,5% des observations. Ces chiffres correspondent à 21% des observations à Montréal contre seulement 11% à Québec. Il y a donc significativement plus d'interactions à moins de deux mètres à Montréal qu'à Québec (Khi carré = 46,87, $p < 0,001$). La majorité des véhicules lors de ces interactions étaient en mouvement alors que seulement 8% d'entre eux attendaient au feu. La présence d'une ligne

d'arrêt étant de mise à chaque intersection, la normalité voudrait que chaque usager ait son espace distinct sur la chaussée ; avoir une interaction avec un véhicule à l'arrêt est donc signe d'un risque vécu, c'est pourquoi on le comptabilise.

Lorsqu'on s'intéresse tout d'abord aux caractéristiques individuelles des piétons qui peuvent influencer la présence d'interactions (Tableau 3.5), peu de variables sont significatives. Qu'il s'agisse du sexe, de l'âge ou si le piéton était seul lors de la traversée, aucune de ces variables catégorielles n'est significativement associée aux interactions. Le fait d'avoir une aide à la mobilité est également non significatif, mis à part pour le modèle montréalais, mais seulement au seuil de 0,1. Ainsi, à Montréal, lorsque le piéton a une aide à la mobilité (cane, déambulateur, etc.), il se retrouve en surreprésentation dans les interactions ($\chi^2 = 2,8$, $p < 0,1$).

Ce sont les variables de l'environnement bâti et routier qui peuvent nous apporter plus de réponses (Tableau 3.5). Premièrement, si l'on prend toutes les observations, lorsque le piéton est temporairement protégé, il y a surreprésentation d'interaction par rapport aux piétons complètement protégés et ceux non protégés, qui sont en sous-représentation ($\chi^2 = 35$, $p < 0,001$). Cependant, les intersections où le piéton est temporairement protégé ne se trouvent qu'à Montréal alors que celles avec le piéton protégé sont seulement à Québec. On a donc ici un élément de réponse pour expliquer les différences entre les deux villes. Le mode non protégé semble avoir une influence mineure puisque pour chaque ville, où il est comparé avec le mode dominant, soit le partiellement ou le complètement protégé, les résultats ne sont pas significatifs. Il est également important de noter qu'à Québec, lorsque le virage à droite au feu rouge est autorisé, on retrouve une surreprésentation d'interactions ($\chi^2 = 6,14$, $p < 0,05$).

Le type géométrique de l'intersection (en T ou non) n'est pas significatif, mais la présence d'un sens unique est en surreprésentation dans les interactions, mais avec un seuil de signification à 0,1, pour toutes les observations ($\chi^2 = 3,7$) et celles uniquement de Montréal ($\chi^2 = 3,3$).

Lorsqu'on regarde les résultats par rapport au groupe d'intersections, on remarque que les intersections de type *secteur résidentiel dense* (groupe 3) sont les seules en surreprésentation dans les interactions à Québec ($\chi^2 = 62$, $p < 0,001$) alors que c'est l'inverse à Montréal ($\chi^2 = 11$, $p < 0,05$). En effet, les interactions à Montréal sont en surreprésentation aux intersections de types périurbaines (groupe 1) et celles avec du résidentiel dense, une bonne offre de transport en commun et un nombre de collisions importante (groupe 4). Finalement, l'occupation du sol est associée avec les interactions uniquement à Montréal. Les intersections

avec des commerces de détails et/ou de services sont surreprésentées dans les interactions alors que celles où il y a une mixité entre le commercial et le résidentiel se retrouvent en sous-représentation ($Khi\ carré = 15,89$, $p < 0,001$).

Si l'on prend maintenant les tests de moyennes des variables continues (Tableau 3.6), plusieurs résultats sont significatifs. Tout d'abord, la moyenne des collisions aux intersections est plus haute pour les observations sans interaction, incluant celles de Montréal au seuil de 0,1. Concernant l'indice de défavorisation matérielle, la moyenne la plus élevée correspond à la présence d'interaction, et cela à Montréal ($p < 0,05$) comme à Québec ($p < 0,001$). Ce sont les mêmes conclusions pour la défavorisation sociale : la moyenne la plus élevée se trouve lorsqu'il y a eu une interaction, à Montréal ($p < 0,5$), à Québec ($p < 0,01$), mais également dans le modèle des deux villes ($p < 0,05$).

La taille de l'intersection semble également avoir une influence sur la présence ou non d'une interaction lors de la traversée : la moyenne du périmètre des intersections est significativement plus élevée lorsqu'il y a interaction ($p < 0,05$). Le nombre de voies, quant à lui, est significatif seulement à Québec, mais les résultats sont inversés : plus il y a de voies, moins il y a d'interactions ($p < 0,05$). Pour les données des deux villes agrégées, la vitesse autorisée moyenne, lorsqu'il y a une interaction, est de 42,8 km/h alors que lorsqu'il n'y en a pas, la moyenne est de 43,6 km/h ($p < 0,05$). Seulement, à Montréal, le sens est inversé : la moyenne est plus élevée lorsqu'il y a présence d'interaction ($p < 0,001$). À Québec, la différence n'est pas significative.

Les piétons ayant eu une interaction étaient en moyenne plus proche du centre-ville que ceux n'ayant pas eu d'interaction, et ce, pour les trois sous-groupes de données. Dans le même sens, la moyenne des densités de population pour toutes les observations est plus grande lorsqu'il y a une interaction (16204 hab/km² contre 15045 hab/km², $p < 0,001$).

À propos du volume de piétons, on remarque que la moyenne la plus élevée correspond aux traversées avec interaction, et cela dans l'ANOVA des villes confondues ($p < 0,001$) comme dans celle de Québec ($p < 0,001$). À Montréal, la différence de moyenne n'est pas significative. Le volume moyen de passages de véhicules à l'heure de pointe aux intersections, quant à lui, n'est significatif qu'à Québec, où la moyenne lorsqu'il n'y a pas eu d'interaction est de 9024 véhicules alors que lorsqu'il y en a eu, la moyenne est de 6188 véhicules ($p < 0,05$).

La dernière variable significative est également seulement à Québec, où le sentiment d'insécurité aux intersections, mesurée par le questionnaire, est de 51% lorsque les traversées s'étaient

déroulées sans interaction alors que celles avec interaction ont une moyenne de 46%. La différence entre les deux est significative ($p < 0,5$). Il y a donc un lien inverse entre présence d'interaction et sentiment d'insécurité.

Tableau 3.5. Résultats des tableaux de contingence et Khi carré pour le risque vécu

Résidus		Toutes les observations (n=2561)			Observations à Québec (n=1115)			Observations à Montréal (n=1446)		
Nom variable	Catégories	Pas d'interaction (n= 2139)	Interaction à -2 m (n= 422)	%Total ligne	Pas d'interaction (n= 995)	Interaction à -2 m (n= 120)	%Total ligne	Pas d'interaction (n=1144)	Interaction à -2 m (n= 302)	%Total ligne
Sexe	Homme	48,5% 83,5% -1	49% 16,5% 1	48,5 %	48% 87,5% -8,3	55,5% 12,5% 8,3	49%	49% 80% 7	46% 20% -7	48%
	Femmes	51,5% 83,5% 1	51% 16,5% -1	51,5 %	52% 90,5% 8,3	44,5% 9,5% -8,3	51%	51% 78% -7	54% 22% 7	52%
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
		Khi ² = 0,01 p= 0,9			Khi ² =2,6 p=0,1			Khi ² =0,8 p=0,4		
Âge	Jeunes (18-24)	23,5% 85% 10,3	21% 14,5% -10,3	23%	23% 91% 5	18% 9% -5	22,5 %	3,5% 84,5% 2,4	2,5% 15,5% -2,4	4%
	Adultes (25-65)	61% 82,5% -13,6	68% 17,3% 13,6	65%	63% 88% -8	71% 12% 8	64%	23,5% 80% 3,4	22% 20% -3,4	23%
	Seniors (65 et +)	12% 84,5% 3,3	11% 15,5% -3,3	12%	14% 91% 2,9	11% 9% -2,9	13,5 %	73% 78,5% -5,7	75,5% 21,5% 5,7	73%
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
	Khi ² =2,4 p=0,3			Khi ² =2,6 p=0,3			Khi ² =0,8 p=0,3			
Aide à la mobilité	Présence d'une aide	2% 76,5% -3,7	3% 23,5% 3,7	2%	2% 91% 0,4	1,5% 9% -0,4	2%	2% 67,5% -3,9	3,5% 32,5% 3,9	2,5%
	Pas d'aide	98% 83,5% 3,7	97% 16,5% -3,7	98%	98% 89% -0,4	98,5% 11% 0,4	98%	98% 79% 3,9	96,5% 21% -3,9	97,5 %
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
		Khi ² =1,9 p=0,1			Khi ² =0,06 p=0,8			Khi ² =2,8 p<0,1		
Nombre de piétons	Traversée seul	55,5% 83,5% -0,7	55,5% 16,5% 0,7	55,5 %	64% 89% -4	67,5% 11% 4	64%	48% 78% -6,5	51% 22% 6,5	48,5 %

Tableau 3.5 suite

Nombre de piétons	Au moins avec une personne	$\frac{44,5\%}{83,5\%}$ 0,7	$\frac{44,5\%}{16,5\%}$ -0,7	44,5 %	$\frac{36\%}{90\%}$ 4	$\frac{32,5\%}{10\%}$ -4	36%	$\frac{52\%}{80\%}$ 6,5	$\frac{49\%}{20\%}$ -6,5	51,5 %
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
		K _{hi} ² =0,005 p=0,9			K _{hi} ² =0,6 p=0,4			K _{hi} ² =0,7 p=0,4		
Sens de la circulation	Au moins un sens unique	$\frac{24\%}{81\%}$ -15,7	$\frac{28,5\%}{19\%}$ 15,7	25%	$\frac{21\%}{90\%}$ 1,3	$\frac{20\%}{10\%}$ -1,3	21%	$\frac{27\%}{76\%}$ -12,6	$\frac{32\%}{24\%}$ 12,6	28%
	Double-voie	$\frac{75,5\%}{84\%}$ 15,7	$\frac{71,5\%}{15,5\%}$ -15,7	75%	$\frac{79\%}{89\%}$ -1,3	$\frac{80\%}{11\%}$ 1,3	79%	$\frac{73\%}{80\%}$ 12,6	$\frac{68\%}{20\%}$ -12,6	72%
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
		K _{hi} ² =3,7 p<0,1			K _{hi} ² =0,09 p=0,7			K _{hi} ² =3,3 p<0,1		
Type d'intersection	En T	$\frac{14,5\%}{83\%}$ -2,2	$\frac{15,5\%}{17\%}$ 2,2	15%	$\frac{11\%}{89\%}$ -0,5	$\frac{12\%}{11\%}$ 0,5	11%	$\frac{18\%}{80\%}$ 2,5	$\frac{17\%}{20\%}$ -2,5	17,5%
	En croix	$\frac{85,5\%}{83,5\%}$ 2,2	$\frac{84,5\%}{16,5\%}$ -2,2	85%	$\frac{89\%}{89\%}$ 0,5	$\frac{88\%}{11\%}$ -0,5	89%	$\frac{82\%}{79\%}$ -2,5	$\frac{83\%}{21\%}$ 2,5	82,5%
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
		K _{hi} ² =0,1 p=0,7			K _{hi} ² =0,03 p=0,8			K _{hi} ² =0,2 p=0,7		
Protection du piéton	Piéton non protégé	$\frac{21\%}{8\%}$ 12,3	$\frac{18\%}{14\%}$ -12,3	21%	$\frac{29\%}{90\%}$ 3,7	$\frac{26\%}{10\%}$ -3,7	29%	$\frac{14\%}{79\%}$ -0,6	$\frac{14,5\%}{21\%}$ 0,6	14,5 %
	Piéton protégé temporairement	$\frac{46\%}{79\%}$ -54	$\frac{61\%}{21\%}$ 54	48%				$\frac{86\%}{79\%}$ 0,6	$\frac{85,5\%}{21\%}$ -0,6	85,5 %
	Piéton protégé	$\frac{33\%}{88,5\%}$ 41,6	$\frac{21\%}{11,5\%}$ -41,6	31%	$\frac{71\%}{88,5\%}$ -3,7	$\frac{74\%}{11,5\%}$ 3,7	71%			
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
		K _{hi} ² =35,1 p<0,001			K _{hi} ² =0,6 p=0,4			K _{hi} ² =0,01 P=0,9		
Virage à droite au feu rouge	VDFR interdit				$\frac{56\%}{91\%}$ 12,7	$\frac{44\%}{9\%}$ -12,7	55%			
	VDFR autorisé				$\frac{44\%}{86,5\%}$ -12,7	$\frac{56\%}{12,5\%}$ 12,7	45%			

Tableau 3.5 suite

Virage à droite au feu rouge	% Total (colonne)				89%	11%	100%			
					Khi ² =6,1 p<0,05					
Occupation du sol	Résidentiel							<u>22,5%</u> 78%	<u>24%</u> 22%	23%
	Commercial à l'échelle du piéton							<u>18,5%</u> 72%	<u>27%</u> 28%	20%
	Zone commerciale de grande surface				<u>37,5%</u> 88,5%	<u>41%</u> 11,5%	89%	<u>7%</u> 89%	<u>3,5%</u> 11%	6%
	Mixité résidentielle et commerciale				<u>62%</u> 90%	<u>59%</u> 10%	11%	<u>52%</u> 81%	<u>45,5%</u> 19%	51%
	% Total (colonne)				89%	11%	100%	79%	21%	100%
					Khi ² =0,4 p=0,5			Khi ² =15,9 p<0,01		
Groupes d'intersection	1	<u>30%</u> 83%	<u>31%</u> 17%	30,5 %	<u>34%</u> 91%	<u>28%</u> 9%	33,5 %	<u>26,5%</u> 76%	<u>32%</u> 24%	28%
	2	<u>20,5%</u> 85%	<u>18%</u> 15%	20%	<u>20,5%</u> 91%	<u>16,5%</u> 9%	20%	<u>20,5%</u> 81%	<u>18,5%</u> 19%	20%
	3	<u>9,5%</u> 80%	<u>12%</u> 20%	10%	<u>4,5%</u> 61,5%	<u>23,5%</u> 38,5%	6,5%	<u>14%</u> 87,5%	<u>7,5%</u> 12,5%	12,5 %
	4	<u>40%</u> 84%	<u>39%</u> 16%	39,5 %	<u>41%</u> 91,5%	<u>32%</u> 8,5%	40%	<u>38,5%</u> 78%	<u>42%</u> 22%	39,5 %
	% Total (colonne)	83,5%	16,5%	100%	89%	11%	100%	79%	21%	100%
		Khi ² = 3,5 p=0,3			Khi ² =62 p<0,001			Khi ² = 11 p<0,05		

Source : Auteurs

Tableau 3.6. Résultats des tests de moyenne (Anova) pour le risque vécu

Nom variable	Toutes les observations (n=2561)			Observations à Québec (n=1115)			Observations à Montréal (n=1446)		
	Pas d'interaction (n= 2139)	Interaction à -2 m (n= 422)	Anova F (p)	Pas d'interaction (n= 995)	Interaction à -2 m (n= 120)	Anova F (p)	Pas d'interaction (n=1144)	Interaction à -2 m (n= 302)	Anova F (p)
Vitesse	43,55	42,81	3,98 <0,05	48,9	49,1	0,34 0,56	38,8	40,3	13,74 <0,001
Collision	5,2	4,5	7,77 <0,01	4,7	3,5	17,8 <0,001	5,6	4,9	3,68 <0,1
Note matérielle	-0,02	-0,02	0,064 0,8	-0,02	-0,01	14,1 <0,001	-0,19	-0,024	4,22 <0,05
Note sociale	0,038	0,04	4,437 <0,05	0,042	0,047	8,62 <0,01	0,036	0,037	5,12 <0,05
Distance au centre-ville	4,1	3,7	8,54 <0,01	3,95	3,26	7,58 <0,01	4,25	3,94	5,19 <0,05
Nombre de voies	7,46	7,44	0,012 0,91	7,23	6,48	6,63 <0,05	7,66	7,82	0,846 0,358
Périmètre	57,4	59,8	3,99 <0,05	50,44	46,84	2,47 0,117	63,46	64,89	1,39 0,239
Densité de population	15045	16204	14,03 <0,001	11724	11254	1,587 0,208	17933	18171	0,432 0,511
Volume piéton	2144	2753	24,1 <0,001	1078	1747	41,03 <0,001	3070	3153	1444 0,735
Volume véhicule	9428	9024	1,96 0,162	9023	6187	22,89 <0,001	9781	10151	1,49 0,222
Pourcentage d'insécurité	53,2%	52,9%	0,09 0,764	50,6%	45,7%	6,45 <0,05	55,4%	55,8%	0,245 0,621

Source : Auteurs

Risque perçu : sentiment d'insécurité rapporté

Sur les 631 questionnaires, 345 piétons, dont 242 à Montréal et 103 à Québec, ont répondu avoir un sentiment d'insécurité, soit 54,5% des piétons questionnés. Cela correspond à 56,5% de l'échantillon à Montréal contre 51% à Québec, mais cette différence n'est pas statistiquement significative.

Concernant les caractéristiques individuelles (Tableau 3.7), le sexe, l'âge et la résidence ou non du piéton dans le quartier n'ont pas de relations statistiquement significatives avec l'insécurité ressentie. En revanche, la fréquence de traversée est significative dans le modèle des villes confondues (Khi carré = 4,8, $p < 0,05$) et au seuil de 0,1 à Québec (Khi-carré = 3,5). Ainsi, traverser l'intersection au moins une fois par mois, donc la connaître, est en surreprésentation dans

l'insécurité ressentie. La limite à la mobilité est seulement significative au seuil de 0,1 dans le modèle de Montréal, avec une surreprésentation d'insécurité lorsque le piéton a une limite à sa mobilité (Khi carré = 2,7, $p < 0,1$). Les piétons qui utilisent surtout le vélo ou les transports en commun comme moyen de transport principal sont en surreprésentation dans l'insécurité à Québec (khi carré = 14,5, $p < 0,01$). Les automobilistes, à l'inverse, y ressentent moins d'insécurité. Par contre, ces résultats sont contraires dans le modèle des deux villes confondues; les automobilistes sont en surreprésentation dans l'insécurité (Khi carré = 6,6, $p < 0,1$).

Également ici, ce sont les variables de l'environnement bâti et routier qui peuvent nous apporter davantage de réponses. Ainsi, si l'on prend toutes les observations (Tableau 3.7), lorsque le piéton est temporairement protégé ou complètement protégé, il y a surreprésentation d'insécurité, par rapport aux piétons non protégés, qui sont en sous-représentation (Khi carré = 5,3, $p < 0,1$). Lorsqu'on prend les données par ville, à Montréal, lorsque le piéton est temporairement protégé, il y a une surreprésentation d'insécurité (khi carré = 3,8, $p < 0,1$). Le virage à droite au feu rouge, le sens de circulation et le type de géométrie à l'intersection, ne se sont pas avérées être des variables significatives pour le risque perçu.

Si l'on s'intéresse maintenant à l'occupation du sol, seul le test de Montréal est significatif. Les résultats montrent une surreprésentation du sentiment de sécurité seulement lorsque les traversées se trouvent en zone résidentielle (khi carré = 12,4, $p < 0,01$). Si l'on prend les groupes d'intersections déterminés dans ce projet, ce sont les groupes d'intersections périurbaines (1) et celle avec du secteur résidentiel dense, une bonne offre de transport en commun et un nombre de collisions (4) important qui procurent le plus d'insécurité, à Québec (khi carré = 9,9, $p < 0,05$) et dans le modèle des deux villes (khi carré = 8,9, $p < 0,05$). À Montréal, le test n'est pas significatif.

L'autre partie de l'analyse bivariée, celle des tests de moyenne (Tableau 3.8), donne également des résultats significatifs. Dans les données des deux villes ($p < 0,05$) et dans celui de Québec ($p < 0,001$), plus la moyenne des collisions est élevée, plus il y a de l'insécurité. À Montréal, cette relation n'est pas significative. Ce qui ne l'est pas également, et cela pour tous les modèles, ce sont les variables concernant les indices de défavorisation sociale et matérielle, la distance au centre-ville et la vitesse maximale autorisée. En revanche, plus la moyenne de densité de population est élevée, plus les piétons questionnés à Montréal se sentent en sécurité ($p < 0,05$).

Encore une fois, comme le risque vécu, la taille de l'intersection est statistiquement significative, au seuil de 0,1 dans chacune des villes et au seuil de 0,01 pour toutes les observations. En effet,

les moyennes du nombre de voies et du périmètre sont plus élevées lorsqu'une insécurité était rapportée.

À propos du volume de véhicules, on remarque que la moyenne la plus élevée correspond aux piétons se sentant en insécurité, et cela dans tous les sous-groupes de données ($p < 0,05$). Le volume moyen de piétons, quant à lui, n'est significatif qu'à Québec, mais au seuil de 0,1, avec une moyenne plus élevée lorsqu'il y a un sentiment de sécurité. La dernière variable significative est celle du pourcentage d'interaction que l'on a mesuré aux intersections ; À Québec, il existe une association entre insécurité et faible moyenne d'interactions ($p < 0,05$). Il y a donc une relation contraire entre risque perçu et risque vécu, à Québec seulement, les autres sous-groupes n'étant pas statistiquement significatifs.

Tableau 3.7. Résultats des tableaux de contingence et Khi-carré pour le risque perçu

%		Tous les questionnaires (n=631)			Questionnaires à Qc (n=202)			Questionnaires à Mtl (n=429)		
%										
%										
Résidus										
Nom variable	Catégories	Sécurité (n= 286)	Insécurité (n= 345)	%Total ligne	Sécurité (n= 99)	Insécurité (n= 103)	%Total ligne	Sécurité (n=187)	Insécurité (n= 242)	%Total ligne
Sexe	Homme	46%	48,5%		43%	51,5%		47,5%	47%	
		44%	56%	47,5%	44,5%	55,5%	47,5%	43,5%	56,5%	47%
		-3,5	3,5		-4	4		0,5	-0,5	
	Femmes	54%	51,5%		57%	48,5%		52,5%	53%	
	46,5%	53,5%	52,5%	53%	47%	52,5%	43,5%	56,5%	53%	
	3,5	-3,5		4	-4		-0,5	0,5		
	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2=0,3 p=0,6			Khi-2= 1,3 p=0,3			Khi-2=0,01 p= 0,9		
Âge	Jeunes (18-24)	17,5%	16%		16%	11,5%		18%	18%	
		47,5%	52%	17%	57%	43%	14%	44%	56%	18%
		2,4	-2,4		2,3	-2,3		0,4	-0,4	
	Adultes (25-65)	73%	73,5%		72%	76,5%		73%	72%	
	45%	55%	73%	47,5%	52,5%	74%	44%	56%	72,5%	
	-1,4	1,4		-2,5	2,5		1	-1		
Seniors (65 et +)	9,5%	10,5%		12%	12%		9%	10%		
43,5%	56%	10%	50%	50%	12%	40%	60%	9,5%		
	-1	1		0,2	-0,2		-1,4	1,4		
	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2= 0,3 p=0,8			Khi-2= 0,9 p= 0,6			Khi-2= 0,2 p= 0,9		

Tableau 3.7 suite

Type d'intersection	En T	16% 52% 6,1	12% 48% -6,1	14%	15% 55,5% 1,8	11,5% 44,5% -1,8	13%	16,5% 51% 4,4	12,5% 49% -4,4	14%
	En croix	84% 44% -6,1	88% 56% 6,1	86%	85% 48% -1,8	88,5% 52% 1,8	87%	83,5% 42,5% -4,4	87,5% 57,5% 4,4	86%
	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2= 2 p= 0,2			Khi-2=0,5 p= 0,5			Khi-2= 1,5 p= 0,2		
Sens de la circulation	Au moins un sens-unique	27% 45,5% 0,04	27% 54,5% -0,04	27%	30% 53,5% 2,6	25% 46,5% -2,6	27,5%	25,5% 41,5% -2,6	28% 58,5% 2,6	27%
	Double-voie	73% 45% -0,04	73% 55% 0,04	73%	70% 47% 2,6	75% 53% -2,6	72,5%	74,5% 44,5% 2,6	72% 55,5% -2,6	73%
	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2= 0 p= 1			Khi-2=0,6 p=0,4			Khi-2= 0,3 p= 0,6		
Résident du quartier	Non-résident	45,5% 47% 4,5	42,5% 53% -4,5	44%	53,5% 53,5% 4,5	44,5% 46,5% -4,5	49%	41% 43% -0,6	41,5% 57% 0,6	41,5%
	Résident	54,5% 44% -4,5	57,5% 56% 4,5	56%	46,5% 44,5% -4,5	55,5% 55,5% 4,5	51%	59% 44% 0,6	58,5% 56% -0,6	58,5%
	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2=0,5 p=0,5			Khi-2=1,6 p= 0,2			Khi-2= 0,01 p= 0,9		
Limite à la mobilité	Présence d'une aide	4% 33% -4	6,5% 67% 4	5%	3% 60% 0,6	2% 40% -0,6	2,5%	4% 28,5% -4,2	8% 71,5% 4,2	6,5%
	Pas d'aide	96% 46% 4	93,5% 54% -4	95%	97% 48,5% -0,6	98% 51,5% 0,6	97,5%	96% 44,5% 4,2	92% 55,5% -4,2	93,5%
	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2=2 p=0,2			Khi-2=0,2 p=0,6			Khi-2= 2,7 p<0,1		
Protection du piéton	Piéton non protégé	21% 48% 3,3	18,5% 52% -3,3	20%	25% 41% -4,9	35% 59% 4,9	30%	18,5% 54,5% 7,1	12% 45,5% -7,1	15%
	Piéton protégé temporairement	53% 41,5% -13,4	61,5% 58,5% 13,4	58%				81,5% 41,5% -7,1	88% 58,5% 7,1	85%

Tableau 3.7 suite

Protection du piéton	Piéton protégé	26% 52,5% -10	20% 47,5% 10	22%	75% 52,5% 4,9	65% 47,5% -4,9	70%			
	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2= 5,3 p<0,1			Khi-2= 2,3 p= 0,1			Khi-2=3,8 p<0,1		
Virage à droite au feu rouge	VDFR interdit				60,5% 50,5% 1,7	57% 49,5% -1,7	59%			
	VDFR autorisé				39,5% 47% -1,7	43% 53% 1,7	41%			
	% Total (colonne)				49%	51%	100%			
					Khi-2= 0,2 P= 0,6					
Occupation du sol	Résidentiel							28% 58% 12,8	15,5% 42% -12,8	21%
	Commercial à l'échelle du piéton							16% 38,5% -4	20% 61,5% 4	18%
	Zone commerciale de grande surface				50,5% 49% 0,01	50,5% 51% -0,01	50,5%	3,5% 25% -5,2	8,5% 75% 5,2	6,5%
	Mixité résidentielle et commerciale				49,5% 49% -0,01	49,5% 51% 0,01	49,5%	52,5% 42% -3,6	56% 58% 3,6	54,5%
	% Total (colonne)				49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
					Khi-2= 0 p= 1			Khi-2=12,4 p<0,01		
Groupes d'intersection	1	25% 41,5% -6,5	29% 58,5% 6,5	27%	23% 42% -3,9	31% 58% 3,9	27%	25,5% 41,5% -2,6	28% 58,5% 2,6	27%
	2	22% 54,5% 11	15% 45,5% -11	18,5%	25% 59,5% 4,4	16,5% 40,5% -4,4	21%	21% 52% 6,3	15% 48% -6,3	17%
	3	17,5% 52% 6,5	13% 48% -6,5	15,5%	15% 75% 5,2	5% 25% -5,2	10%	18,5% 46% 1,9	17% 54% -1,9	18%
	4	35,5% 41% -11	42% 59% 11	39%	36% 42% -5,7	47,5% 58% 5,7	42%	35% 40% 5,6	40% 60% -5,6	38%

Tableau 3.7 suite

Tableau 3.7 suite										
Groupes d'intersection	% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%
		Khi-2=8,9 p<0,05			Khi-2= 9,9 p<0,05			Khi-2=3,4 p=0,3		
Mode de transport le plus usité	Voiture	24%	17%		39,5%	23%		16%	14%	
		54%	4%	20%	62%	38%	31%	47%	53%	15%
		11,4	-11,4		8,1	-8,1		2,1	-2,1	
	Vélo	6%	9%		0%	10%		9%	9%	
		35,5%	64,5%	8%	0%	100%	5%	44,5%	55,5%	9%
		-4,8	4,8		-4,9	4,9		0,4	-0,4	
Marche	34%	34%		30%	30%		36%	36%		
	45%	55%	34%	49%	51%	30%	43%	57%	36%	
	-0,9	0,9		0,1	-0,1		-0,6	0,6		
Transports collectifs	36%	40%		30,5%	37%		39%	41%		
	43%	57%	38%	44%	56%	34%	42,5%	57,5%	40%	
	-5,8	5,8		-3,3	3,3		-1,9	1,9		
% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%	
	Khi-2=6.6 p= 0,08			Khi-2=14,5 p<0,01			Khi-2=0,4 p=0,9			
Fréquence de traversée	Jamais ou presque jamais	24,5%	17,5%		26%	15,5%		23,5%	18%	
		54%	46%	20,5%	62%	38%	79%	50%	50%	79,5%
	11	-11		5,4	-5,4		5,6	-5,6		
	Au moins une fois par mois	75,5%	82,5%		74%	84,5%		76,5%	82%	
43%		57%	79,5%	45,5%	54,5%	21%	42%	58%	20,5%	
	-11	11		-5,4	5,4		-5,6	5,6		
% Total (colonne)	45,5%	54,5%	100%	49%	51%	100%	43,5%	56,5%	100%	
	Khi-2= 4,8 p< 0,05			Khi-2= 3,5 p=0,06			Khi-2=1,9 p= 0,2			

Source : Auteurs

Tableau 3.8. Résultats des tests de moyenne (Anova) pour le risque perçu

Nom variable	Tous les questionnaires (n=631)			Questionnaires à Qc (n=202)			Questionnaires à Mtl (n=429)		
	Sécurité (n=286)	Insécurité (n=345)	Anova F (p)	Sécurité (n= 99)	Insécurité (n=103)	Anova F (p)	Sécurité (n= 187)	Insécurité (n= 242)	Anova F (p)
Vitesse	42,3	41,9	0,433 0,511	49,7	49,5	0,7 0,4	38,3	38,7	0,22 0,6
Collision	4,77	5,7	5,727 0,017	3,92	5,37	10,7 0,001	5,21	5,83	1,36 0,2
Note matérielle	-0,016	-0,019	1,743 0,187	-0,13	-0,16	0,72 0,4	-0,168	-0,02	0,9 0,3
Note sociale	0,039	0,037	0,732 0,4	0,042	0,043	0,005 0,9	0,037	0,035	1,13 0,3
Distance au centre-ville	4,15	4,19	0,032 0,9	3,9	3,7	0,2 0,7	4,3	4,4	0,23 0,6
Nombre de voies	7,22	7,87	7,5 0,006	7,13	8,08	4,43 0,04	7,27	7,79	3,44 0,06
Périmètre	58	63	7,9 0,005	49,8	56	3,34 0,07	62,34	65,50	3,23 0,07
Densité de population	15 953	15 260	2,2 0,14	11 779	11 708	0,014 0,9	18 163	16 772	6,44 0,012
Volume piéton	2 422	2 486	0,115 0,7	1 591	1 250	3,78 0,053	2 863	3 011	0,36 0,6
Volume véhicule	8 763	10 189	10,5 0,001	8 362	10 549	4,95 0,03	8 975	10 036	5,43 0,02
Pourcentage d'interactions	18%	17%	0,4 0,5	13%	10%	4,63 0,03	20%	20%	0,005 0,9

Source : Auteurs

3.1.5. Discussion

Qu'il s'agisse du risque perçu ou du risque vécu, c'est majoritairement l'environnement bâti, et non les caractéristiques des piétons, qui a un impact sur le sentiment de sécurité. Bien que dans certains travaux, les variables individuelles telles que le sexe (Rankavat et Tiwari 2016 ; Cho, Rodríguez et Khattak 2009 ; Kummeneje et Rundmo 2019) ou l'âge (Rankavat et Tiwari 2016) se sont avérées être des variables explicatives, dans notre étude elles n'ont pas été significatives. Il n'y a donc pas de lien établi entre ces caractéristiques et un sentiment d'insécurité.

Le phasage des feux s'avère une caractéristique importante dans le sentiment de sécurité des piétons. Nos résultats démontrent que la phase temporairement protégée est associée à un risque vécu et perçu accru, notamment par rapport à la phase complètement protégée. Notons par ailleurs que les observations sans interaction à Québec sont plus fréquentes à des intersections plus complexes à traverser : le nombre de véhicules et de voies y est plus élevé, et le virage à droite au feu rouge y est interdit plus souvent. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'en présence d'une telle intersection, les piétons respecteront les feux piétons et s'éviteront des interactions en raison du phasage protégé. Cela explique également le lien entre risque perçu et risque vécu, qui n'est significatif qu'à Québec. L'insécurité perçue dans cette ville dépend plus des caractéristiques expliquant les non-interactions citées ci-dessus, ce qui rend sa relation statistique négative avec le nombre d'interactions. C'est alors encore plus pertinent de mesurer les deux indicateurs, car ils nous dressent un portrait plus complet du sentiment d'insécurité. Concernant ces interactions justement, nos résultats sont concordants avec ceux d'une autre étude qui portait sur les interactions et qui a démontré que les phases exclusives (mode complètement protégé) étaient associées à moins d'interactions que les autres phasages (Zhang et al. 2015). À notre connaissance, aucune autre étude n'a regardé l'association entre les interactions et le phasage des feux.

L'originalité de notre étude repose aussi sur la relation entre le sentiment de sécurité et la sécurité « réelle », évaluée à travers l'historique de collisions. De fait, nos résultats sont à l'opposé entre le risque perçu et vécu. Pour le risque perçu, il est plus important quand il y a plus de collisions historiques. C'est le contraire pour le risque vécu, où quand il y a moins de collisions historiques, les interactions sont plus nombreuses. Une explication possible pour cette contradiction est celle que Dumbaugh et Rae (2009) mettent de l'avant. Bien qu'ils considèrent que le risque d'accident est plus important aux intersections, leur gravité est bien souvent moindre du fait notamment de la vitesse plus basse des véhicules. Alors, il se peut que ce soit la même chose ici : plus les

intersections ont des interactions, moins le risque de collision est important, car les déplacements se font soit à plus basse vitesse soit de manière plus synchronisée (Cloutier, Lachapelle et Howard 2019). Cependant, d'autres travaux sont nécessaires pour approfondir et valider cette hypothèse, car elle va à l'encontre d'une autre étude qui associe positivement les interactions avec les collisions (Cloutier, Lachapelle et Howard 2019).

Il reste que la perception du risque est plus importante lorsqu'il y a des collisions, ce qui suit une logique de relation positive entre sécurité « réelle » et sentiment de sécurité (Cho, Rodríguez et Khattak 2009). La présente étude étant exploratoire, il serait intéressant de pousser plus loin les analyses en s'intéressant au comportement des piétons, à savoir s'ils respectent la signalisation ou encore si les temps d'attente – plus longs lors de phases exclusives – ne les poussent pas à contrevenir aux règles, ce qui engendrerait d'autres enjeux de sécurité à évaluer. Aussi, ce projet examine la perception de la sécurité et la mesure de celle-ci. Dans le but d'encourager et d'améliorer l'expérience de la marche, c'est quasiment essentiel de ne pas seulement améliorer la sécurité réelle, mais aussi sa perception, d'où l'intérêt de cette étude. Si les individus ne perçoivent pas la traversée d'intersections à pied comme étant sécuritaire, ils vont être moins enclins à choisir la marche comme mode de déplacement. En revanche, ce à quoi il faut faire attention, c'est l'effet contre-productif de créer des situations qui sont perçues comme sécuritaires, mais qui ne le sont pas. Il faudrait alors mettre en place des mécanismes permettant d'atténuer cette conséquence, ce qui peut faire l'objet d'une autre étude.

Bien qu'unique à plusieurs égards, nos travaux ont tout de même certaines limites. Tout d'abord, malgré le fait que nous ayons un grand nombre d'observations, elles ont été effectuées à seulement 23 intersections différentes, ce qui réduit considérablement leur variabilité, mais qui permet d'avoir plus d'homogénéité dans les observations. De plus, ces intersections se situent dans deux villes différentes. Ce sont donc deux réalités urbaines différentes, ce qui peut faire en sorte d'avoir des comportements de piétons et de véhicules différents, tout comme une culture de la sécurité routière distincte. Une autre limite de notre étude est celle concernant les heures et la saison de la collecte de données. Les données représentent seulement des événements d'été, avec une météo clémente, en pleine journée. Elles sont donc partiellement représentatives de toutes les périodes possibles de traversée, notamment celles effectuées de nuit et en hiver. Ainsi, nos résultats ne peuvent être généralisés à tous les moments de l'année. Puis, la dernière limite est celle de la collecte de données. En effet, dans notre étude, nous avons voulu étudier la perception des utilisateurs à des croisements spécifiques afin de déterminer s'il y avait des différences selon la configuration du croisement. Les observations et les questionnaires sur rue

sont donc pertinents, mais ils mettent de côté des personnes qui trouvent ces systèmes inadéquats, au point qu'ils ne marchent plus. Ils ne sont donc pas capturés, comme ils auraient pu l'être lors de focus group, par exemple.

3.1.6. Conclusion

L'objectif de cet article était d'évaluer le sentiment de sécurité des piétons à travers le risque vécu, mesuré par la présence d'interactions lors de la traversée, et le risque perçu, en demandant directement aux piétons leur sentiment de sécurité sur la rue. Nos résultats démontrent des différences et des similitudes entre les deux villes qui ont des approches différentes du phasage des feux et des priorités accordées aux piétons. La phase complètement protégée obtient de meilleurs résultats que la phase temporairement protégée, en particulier avec le risque vécu. D'autres caractéristiques de l'environnement bâti et routier ont également été significatives et donc pertinentes pour expliquer l'insécurité ressentie. Ces caractéristiques sont parfois les mêmes que celles influençant le risque de collisions, notamment le volume de véhicules, la taille de l'intersection ou encore la vitesse maximale autorisée. Les caractéristiques individuelles ne semblent donc pas avoir un grand rôle dans l'explication de la variation de l'insécurité. Toutefois, ce constat est fait à partir d'analyses faites une à une. Si l'on considérait toutes les variables explicatives dans un seul modèle statistique, en l'occurrence multiniveaux, il se peut que les résultats soient plus nuancés. Néanmoins, les résultats de cette étude contribuent à une meilleure compréhension des dynamiques aux intersections avec feux et à leur phasage, ainsi qu'à une meilleure évaluation des enjeux liés à l'insécurité ressentie des piétons.

3.2. Résultats de l'analyse multiniveau

Pour cette analyse, on reprend donc la même base de données que l'analyse bivariée, en se concentrant sur seulement celle du risque vécu, avec les deux villes confondues. À titre de rappel, 2561 observations ont été effectuées et 422 piétons, dont 302 à Montréal et 120 à Québec, ont été sujets à au moins une interaction à moins de 2 mètres d'un véhicule, soit environ 16,5% des observations. Après avoir effectué plusieurs modèles avec des variables différentes et après avoir testé lesquels sont les meilleurs et les plus aptes à répondre à nos questions de recherche, repris dans le tableau 3.9, le choix du modèle le plus pertinent s'est porté sur celui qui se trouve dans le tableau 3.10 ci-dessous.

Tableau 3.9. Différents modèles testés

Modèle	Variable X de niveau 1 (piétons observés)	Variable X de niveau 2 (intersection)	Pseudo-R ² de McFadden
1	Âge Genre Aide à la mobilité	Phasage des feux	0,0042
2	Âge Genre Aide à la mobilité	Phasage des feux Volume piétons Volume véhicules	0,0085
3	Âge Genre Aide à la mobilité	Phasage des feux Volume piétons Volume véhicules Vitesse Type d'intersection	0,0091
4	Âge Genre Aide à la mobilité	Phasage des feux Volume piétons Volume véhicules Vitesse Type d'intersection Sens de circulation	0,0091

Source : Données compilées par l'auteur

Tableau 3.10. Modèle multiniveau pour le risque vécu (n=2561)

Niveau de variable	Variables	Standard error	Rapports de côte	Intervalle de confiance (95%)	Valeur de p
	Intercept	1,01	0,08	[0,01;0,60]	<i>p</i> <0,05
Niveau 1	Genre (<i>référence femme</i>)	0,11	1,00	[0,81;1,23]	0,99
	Personnes âgées (plus de 65 ans) (<i>Référence adultes 25-65 ans</i>)	0,18	0,92	[0,76;1,56]	0,64
	Jeunes (moins de 25 ans) (<i>Référence adultes 25-65 ans</i>)	0,14	0,89	[0,68;1,17]	0,42
	Aide à la mobilité	0,34	1,84	[0,94;3,60]	<i>p</i> <0,1
Niveau 2	Phase temporairement protégée	0,36	2,30	[1,14;4,70]	<i>p</i> <0,05
	Pas de feux piétons	0,35	1,41	[0,70;2,83]	0,33
	Volume piéton (/100) *	0,01	1,01	[1,00;1,02]	<i>p</i> <0,05
	Volume véhicule (/1000) *	0,02	0,94	[0,89;0,98]	<i>p</i> <0,01
	Sens de circulation	0,28	0,75	[0,44;1,29]	0,29
	Vitesse	0,02	1,02	[0,98;1,06]	0,37

ICC: 0,055 | Log likelihood: -1094,5 | AIC = 2213 | Pseudo-R² de McFadden : 0,0094

*Les données des variables volume piéton et volume véhicule ont été divisées respectivement par 100 et par 1000 pour faciliter l'interprétation des résultats.

Source : Données compilées par l'auteur

On a donc un modèle final qui obtient des meilleurs scores de performance comparé aux modèles tests. En effet, même si le pseudo-R² de McFadden a une valeur assez faible (0,0094), il est tout de même supérieur à zéro, ce qui veut dire que nos variables expliquent une partie de la variance. C'est le meilleur même score obtenu à la suite de nos tests, tout comme le AIC (Akaike information criterion) qui a, dans notre modèle final, sa valeur la plus faible. La valeur de l'*Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) est de 0,055, ce qui signifie que les variables liées à l'intersection expliquent environ 5,5% de la variance, ce qui est considéré comme étant une faible proportion mais qui correspond relativement à différents résultats d'autre études de sécurité routière (Adanu et al. 2017 ; Jones et Jørgensen 2003).

Les résultats que l'on peut ressortir de cette analyse correspondent relativement bien à ceux de l'analyse bivariée. En effet, on remarque que ni le genre, ni l'âge ne sont significatifs dans l'explication de la variance. Seule la présence d'une aide à la mobilité pour les caractéristiques individuelles est associée à un risque d'interaction accru (*p*<0.1), avec 1,84 fois plus de chances d'avoir une interaction lorsque le piéton a été observé avec une aide à la mobilité comparé à ne pas en avoir. En revanche, ce résultat est à nuancer car le seuil significatif n'est que de 0.1 et le résultat ne représente que 2% des observations. Nous le mettons en avant car il est difficile de

capturer ces populations, leur proportion dans la population étant assez faible – la part des québécois.e.s ayant une incapacité liée à la mobilité est de 6,4%⁷. Également, la phase temporairement protégée augmente de 2,3 fois les chances d’avoir une interaction, comparé à la phase complètement protégée ($p < 0.05$). La non-présence de feux piétons par rapport à avoir un phasage complètement protégé n’est pas significatif dans l’explication de la présence d’interaction ou pas.

Alors que le sens de circulation et la vitesse ne sont également pas des variables significatives dans notre modèle, les volumes piétons et véhicules le sont, même si c’est marginal. En effet, pour une augmentation d’en moyenne 100 piétons par jour aux heures de pointe du matin et du soir à une intersection, la probabilité d’avoir une interaction augmente de 1% ($p < 0.05$). À l’inverse, et cela concorde avec l’analyse bivariée, pour une augmentation d’en moyenne 1000 véhicules par jour aux heures de pointe du matin et du soir à une intersection, la probabilité d’avoir une interaction diminue de 6% ($p < 0,01$).

⁷ Données de l’office des personnes handicapées du Québec (<https://www.ophq.gouv.qc.ca/loffice/faq/faq-statistiques.html>)

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

À partir des résultats, trois grands constats importants se dessinent. Ils font l'objet de cette dernière partie. La première section met en avant l'influence relativement négligeable des caractéristiques individuelles sur le sentiment de sécurité, tel qu'on l'a défini. Ensuite, la deuxième section présente les influences de l'environnement bâti et routier, différentes selon le risque vécu et perçu. Finalement, la troisième section vient mettre en perspective nos résultats face à la sécurité réelle et explicitera le lien avec et entre les différentes composantes du sentiment de sécurité. Enfin, on terminera par une section sur les forces et limites de notre recherche.

4.1. Influence relativement négligeable des caractéristiques individuelles sur le sentiment de sécurité

4.1.1. L'âge et le genre non significatifs

Qu'il s'agisse du risque perçu ou du risque vécu, et dans nos deux analyses (bivariées et multiniveaux), les caractéristiques individuelles des piétons les plus courantes dans la littérature s'avèrent ne pas être significatives dans notre étude. Par exemple, alors que des études ont démontré que les femmes seraient plus susceptibles d'avoir un risque perçu plus important que les hommes (Rankavat et Tiwari 2016 ; Cho, Rodríguez et Khattak 2009), il n'y a aucune différence dans notre étude, que ce soit à Montréal ou à Québec. Concernant le risque vécu, nos résultats sont concordants avec les résultats de Cloutier et al. (2017), qui ne révèlent aucune relation significative entre le nombre d'interactions et le genre des piétons. En revanche, concernant l'âge, cette même étude démontrait que les aînés avaient une proportion significativement plus importante d'interactions que les autres groupes d'âge, ce qui n'est pas le cas dans notre étude. Rankavat et Tiwari (2016) arrivent à la même conclusion pour les personnes âgées, ajoutant les jeunes de moins de 30 ans aux groupes d'âge ayant un risque perçu plus important. Il faut toutefois noter que cette étude se déroule en Inde, les conditions peuvent donc différer du Québec. En revanche, nos résultats sur les groupes d'âge rejoignent ceux de Cho, Rodríguez et Khattak (2009) qui n'avaient pas trouvé d'association significative entre l'âge et le risque perçu.

Ces résultats sont intéressants à mettre en perspective avec les résultats sur la sécurité piétonne lorsqu'elle est mesurée à partir des collisions passées. En effet, les seniors sont considérés comme étant le groupe d'âge le plus à risque, et ce dans beaucoup d'études (Dai 2012 ; Dumbaugh et Rae 2009 ; Ukkusuri et al. 2012 ; Dumbaugh et Zhang 2013). De plus, le rapport vision zéro 2019 de la Ville de Montréal (2020) met de l'avant que plus de 60% des piétons décédés sur le territoire de la ville avaient plus de 65 ans et que « toutes les victimes de collisions survenues lors d'un virage à droite ou à gauche étaient âgées de 65 ans et plus ». Aussi, 58% de ces aînés décédés étaient des femmes, donc elles sont surreprésentées par rapport aux hommes (Ville de Montréal 2020). On comprend donc que, même si les aînés, et de surcroît les femmes, sont une catégorie à risque, ce n'est pas pour autant qu'ils ont un sentiment de sécurité différent des autres.

4.1.2. L'aide à la mobilité comme facteur explicatif à Montréal

Alors que l'âge et le genre ne sont pas des variables nous permettant d'expliquer le sentiment de sécurité, l'aide à la mobilité, et par extension la lenteur et la difficulté physique à traverser, est positivement associée au risque perçu et vécu, seulement à Montréal dans les analyses bivariées. Elle l'est également pour les deux villes confondues et seulement pour le risque vécu dans l'analyse multiniveau. Même si les résultats ne sont significatifs qu'à un seuil de 0,1, on peut déduire avec précaution qu'avoir une aide à la mobilité est associé à plus d'interactions et à un risque perçu également plus important. Ce résultat est concordant avec certains auteurs, notamment Lord et al. (2018), qui ont trouvé, dans leur étude sur les aînés, que les limitations à la mobilité étaient associées à un comportement plus prudent lors de la traversée – par exemple, regarder le sol au début et pendant la traversée, marcher plus lentement, etc, ce qui avait pour conséquence de poser des problèmes de cohabitation avec les autres usagers de la route. Allant dans le même sens, une autre étude a démontré que l'âge s'est avéré être moins significatif que le fait de marcher lentement, qui était associé à une plus grande probabilité d'interactions (Cloutier et al. 2017). Il n'est pas étonnant que ces piétons ressentent de manière plus importante le risque puisque leurs limitations à la mobilité rendent leur traversée de la rue plus difficile. Il est intéressant de constater à la lumière de nos résultats et de ceux cités ici que ce n'est pas l'âge des piétons, mais bien leurs caractéristiques « comportementales », en termes de vitesse de marche ou autres, qui jouent un rôle dans leur sentiment de sécurité.

4.2. Environnement bâti et routier : des influences différentes selon le risque vécu ou le risque perçu

4.2.1. Le phasage des feux déterminant dans le risque vécu

Le phasage des feux s'avère être une caractéristique importante à retenir pour le risque vécu. En effet, nos résultats démontrent que la phase temporairement protégée est associée à un nombre d'interactions plus important que les autres phases, en particulier celle complètement protégée. Cela fait en sorte qu'il y a environ deux fois plus d'interactions à Montréal qu'à Québec. Cela s'explique par le non-mouvement des véhicules lors d'une phase protégée, ce qui laisse la chaussée libre aux piétons. Toutefois, on remarque qu'il y a quand même des interactions dans ces intersections normalement complètement protégées. Deux raisons peuvent expliquer la présence de ces interactions. Tout d'abord, l'autorisation du virage à droite au feu rouge à certaines intersections fait en sorte qu'un mouvement de véhicule est tout de même possible lors de traversées piétonnes. Dans nos modèles, cette variable est significativement associée à plus d'interactions, ce qui en fait un facteur influençant le risque vécu. Deuxièmement, le passage sur le feu rouge de la part d'un véhicule ou d'un piéton (un comportement assez fréquent à Québec) peut également expliquer l'existence d'interactions lors des phasages complètement protégés. À notre connaissance, aucune autre étude n'a regardé l'association entre les interactions et le phasage des feux, mais quelques-unes ont examiné l'impact des phasages sur les collisions impliquant des piétons. Tout comme pour nos interactions, dans ces études, la phase complètement protégée est associée à une diminution du risque d'accident comparé aux autres phasages de feux (Stipancic et al. 2020) ou comparé seulement aux intersections sans protection piétonne (Zhang et al. 2015).

4.2.2. La taille de l'intersection et le volume de véhicule comme influences majeures sur le risque perçu

Nos résultats démontrent que le risque perçu est influencé par les caractéristiques des intersections visitées. En effet, le nombre de voies, le périmètre et le volume de véhicules sont toutes des variables significatives : plus les valeurs de ces variables sont élevées, plus le risque perçu des piétons est élevé. Ces résultats sont concordants avec certaines études sur la

perception du risque, qui montraient, pour l'une, grâce à des entrevues réalisées à partir de photographies, que la densité de trafic influençait négativement la décision de traverser (Granié et al. 2014). Une autre étude démontrait que les parents qui habitaient proches de rues importantes avec un fort trafic (autoroutes, rues principales) percevaient plus leur environnement comme étant à risque pour leurs enfants que les parents habitant dans des quartiers avec moins de trafic et des rues plus calmes, ce qui rejoint nos résultats (Lam 2001).

Par ailleurs, ces caractéristiques significatives dans nos résultats sur le risque perçu correspondent aussi aux environnements à risque identifiés par les études s'intéressant aux facteurs associés à plus de collisions. En effet, les intersections ou zones où on retrouve un fort volume de véhicules, caractérisées par la présence d'artères, de rues larges ou à plusieurs voies sont des endroits plus accidentogènes (Merlin, Guerra et Dumbaugh 2019 ; Osama et Sayed 2017 ; Dumbaugh, Wenhao et Kenneth 2013 ; Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy 2011).

Il est par ailleurs intéressant de noter ici que le volume de véhicules et le nombre de voies sont plutôt associés à une diminution du nombre d'interactions (risque vécu) à Québec. Nous expliquons ce résultat contre-intuitif par l'hypothèse qu'en présence d'une intersection caractérisée par un fort volume de véhicule et d'une taille importante, où le virage à droite au feu rouge est souvent interdit, les piétons et les véhicules respecteront plus les feux et s'éviteront ainsi des interactions en raison du phasage complètement protégé.

4.3. Lien entre les trois mesures de la sécurité : réelle, perçu et vécu

La comparaison entre les deux volets du sentiment de sécurité (perçu et vécu) et la sécurité « réelle », évaluée à travers l'historique de collisions pour les mêmes intersections s'avère intéressante puisque nos résultats sont à l'opposé entre les risques perçus et vécus. Alors que le risque perçu est associé positivement au nombre de collisions passées, c'est le contraire pour le risque vécu : les intersections où les interactions sont plus nombreuses sont aussi celles où il y a eu moins de collisions. Dumbaugh et Rae (2009) avancent une hypothèse qui explique en partie cette contradiction dans nos résultats. Ces auteurs considèrent que le risque de collisions est plus important aux intersections, mais leur gravité est bien souvent moindre du fait notamment de la vitesse plus basse des véhicules. La même logique s'applique possiblement ici : plus les intersections ont des interactions, moins le risque de collision est important, car les déplacements se font potentiellement soit à plus basse vitesse, soit de manière plus synchronisée. Cependant,

d'autres travaux sont nécessaires pour approfondir et valider cette hypothèse, car elle va à l'encontre d'autres études qui associent positivement les interactions avec les collisions (Cloutier et al. 2017 ; Cloutier, Lachapelle et Howard 2019 ; Sacchi et Sayed 2016 ; El-Basyouny et Sayed 2013). Il reste que le risque perçu est plus important aux intersections avec plus de collisions, ce qui suit une logique de relation positive entre sécurité « réelle » et sentiment de sécurité (Cho, Rodríguez et Khattak 2009 ; Rankavat et Tiwari 2016). Cela explique également la relation négative entre le risque perçu et le risque vécu, qui n'est significative qu'à Québec. L'insécurité perçue dans cette ville dépend plus des caractéristiques expliquant les non-interactions, ce qui rend sa relation statistique négative avec le nombre d'interactions. Ce dernier résultat réitère la pertinence de mesurer le sentiment de sécurité à travers nos deux indicateurs, car ils nous brossent un portrait plus complet de l'expérience piétonne.

4.4. Forces et limites de la recherche

L'originalité de notre étude repose sur nos collectes de données sur le terrain, dans deux villes différentes, avec deux modes de gestion de feux différents, ce qui permet d'en avoir une comparaison unique et originale. De plus, notre base de données rassemble beaucoup d'observations et de questionnaires à des mêmes intersections, et, même si cela réduit considérablement la variabilité dans les variables reliées aux intersections, cela permet d'avoir une grande homogénéité des résultats, car on a un plus grand nombre de piétons dans un même environnement.

Mais, bien qu'uniques à plusieurs égards, nos choix méthodologiques ont tout de même certaines limites. La première est celle de la pluralité des observateurs. En effet, même si les coefficients de Kappa montrent des observations assez similaires entre les chercheurs, il faut rester prudent, car les observateurs ont tous un biais, par exemple sur le groupe d'âge, qui était estimé par les observateurs. Une autre limite de notre méthodologie est celle concernant les heures et la saison de la collecte de données. Les données utilisées représentent seulement des événements d'été, avec une météo clémente, en pleine journée. Elles sont donc partiellement représentatives de toutes les périodes possibles de traversée, notamment celles effectuées de nuit et en hiver. Ainsi, nos résultats ne peuvent être généralisés à tous les moments de l'année. En revanche, d'autres collectes de données ont été effectuées pendant les autres saisons au sein du projet STRAPI ; leurs analyses seront donc d'autant plus intéressantes dans un futur rapproché. Puis, la dernière limite est celle de la collecte de données. En effet, dans notre étude, nous avons voulu étudier la

perception des utilisateurs à des croisements spécifiques afin de déterminer s'il y avait des différences selon la configuration du croisement. Les observations et les questionnaires sur rue sont donc pertinents, mais ils mettent de côté des personnes qui trouvent ces systèmes inadéquats, au point qu'ils ne marchent plus et ne se retrouvent pas sur la rue, où nous avons collecté nos données. Ils ne sont donc pas inclus, comme ils auraient pu l'être lors de groupe de discussion ou d'entretiens à la maison, par exemple.

CONCLUSION

À travers cette recherche, j'ai pu déterminer : 1) quels facteurs influencent le sentiment de sécurité des piétons, évalué à travers un indicateur de risque perçu (trouver l'intersection dangereuse ou faire attention lorsqu'on la traverse) et un de risque vécu (avoir eu une interaction avec un véhicule lors de la traversée); 2) si les environnements à risque procurent un sentiment d'insécurité. Mise à part l'aide à la mobilité, qui semble avoir un impact sur l'augmentation de l'insécurité – risque vécu et perçu plus important, notamment à Montréal, ce sont surtout les variables de l'environnement bâti et routier qui ont une influence importante sur ces indicateurs. La phase temporairement protégée, présente à Montréal, semble augmenter le risque d'avoir une interaction comparée à celle complètement protégée de Québec. En revanche, il n'y a pas de lien qui a été trouvé entre le phasage et le risque perçu, celui-ci étant plutôt influencé par des variables telles que le volume de véhicules et la taille des intersections. Ces derniers facteurs sont également ceux qui sont reconnus comme étant des facteurs de risque de collisions. Par conséquent, les environnements à risque procureraient un risque perçu plus important chez les piétons, sans nécessairement mener à un risque vécu plus important qu'ailleurs. Cela traduit sans doute le fait que les piétons évitent de traverser, car ils considèrent trop dangereux de le faire, ou alors que les comportements sont plus prudents et les règles plus respectées.

Au regard de nos résultats, il serait intéressant de pousser plus loin les analyses en s'intéressant au comportement des piétons, à savoir s'ils respectent la signalisation ou encore si les temps d'attente – plus long lors de phases exclusives – ne les poussent pas à contrevenir aux règles, ce qui engendrerait d'autres enjeux de sécurité. Aussi, même si certaines caractéristiques individuelles sont présentes dans cette étude, il n'en reste pas moins que chaque personne a une histoire, des expériences et même une compréhension spécifique de son environnement. Ces modalités psychologiques et culturelles ne sont pas étudiées par la méthode quantitative que nous avons utilisée ici. Des études plus approfondies, portées plutôt par des méthodes qualitatives, pourraient être intéressantes afin d'approfondir ces nuances propres à chaque individu.

BIBLIOGRAPHIE

- Adanu, Emmanuel Kofi, Randy Smith, Lars Powell et Steven Jones. 2017. « Multilevel analysis of the role of human factors in regional disparities in crash outcomes. » *Accident Analysis & Prevention* 109: 10-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.022>.
- Amphoux, Pascal. 2004. « Marcher en ville. » *Les Annales de la Recherche Urbaine* 97 (1): 136-140. doi: 10.3406/aru.2004.2587.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. 2020. Industrial Revolution Timeline. In *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/summary/Industrial-Revolution-Timeline>.
- Canada, Transport. 2018. *National Collision Database Online*. <https://wwwapps2.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/7/NCDB-BNDC/p.aspx?i=4027&l=en&wk=9#o18>.
- Centers for disease control and prevention. 1999. *Achievements in Public Health, 1900-1999 Motor-Vehicle Safety: A 20th Century Public Health Achievement*. <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm4818a1.htm>.
- Chittley, Jordan. 2015. « First electric traffic signal installed 101 years ago. » *The Globe and mail*. <https://www.theglobeandmail.com/globe-drive/news/trans-canada-highway/first-electric-traffic-signal-installed-101-years-ago-today/article25843861/#:~:text=The%20first%20traffic%20lights%20went,of%20lights%20two%20months%20later>.
- Cho, Gihyoung, Daniel A. Rodríguez et Asad J. Khattak. 2009. « The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. » *Accident Analysis and Prevention* 41 (4): 692-702. doi: 10.1016/j.aap.2009.03.008.
- Cloutier, Marie-Soleil, Ugo Lachapelle, Andrée-Anne D'amours-Ouellet, Jacques Bergeron, Sébastien Lord et Juan Torres. 2017. « "Outta my way!" Individual and environmental correlates of interactions between pedestrians and vehicles during street crossings. » *Accident Analysis and Prevention* 104: 36-45. doi: 10.1016/j.aap.2017.04.015.
- Cloutier, Marie-Soleil, Ugo Lachapelle et Andrew Howard. 2019. « Are More Interactions at Intersections Related to More Collisions for Pedestrians? An Empirical Example in Quebec, Canada. » *Transport Findings*. doi: <https://doi.org/10.32866/7345>.
- Dai, Dajun. 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 Robert Rae. 2009. « Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety. » *Journal of the American Planning Association* 75 (3): 309-329. doi: 10.1080/01944360902950349.
- Dumbaugh, Eric, Li Wenhao et Joh Kenneth. 2013. « The built environment and the incidence of pedestrian and cyclist crashes. » *URBAN DESIGN International* 18 (3): 217. doi: 10.1057/udi.2013.2.
- Dumbaugh, Eric et Yi Zhang. 2013. « The Relationship between Community Design and Crashes Involving Older Drivers and Pedestrians. » *Journal of Planning Education and Research* 33 (1): 83-95. doi: 10.1177/0739456X12468771.
- El-Basyouny, Karim et Tarek Sayed. 2013. « Safety performance functions using traffic conflicts. » *Safety Science* 51 (1): 160-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.04.015>.
- Environmental Systems Research Institute. 2019a. Analyse des regroupements. <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/grouping-analysis.htm>.
- . 2019b. ArcGIS Survey123, version 3.1.
- Fayish, A. C. et F. Gross. 2010. « Safety effectiveness of leading pedestrian intervals evaluated by a before-after study with comparison groups. » *Transportation Research Record* (2198): 15-22. doi: 10.3141/2198-03.
- Fernandes, D. 2014. « Vehicle-pedestrian Accidents at Signalized Intersections in Montréal. », McGill University Libraries. <https://books.google.ca/books?id=FXbrnwEACAAJ>.
- Fischhoff, Baruch, Paul Slovic, Sarah Lichtenstein, Stephen Read et Barbara Combs. 1978. « How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. » *Integrating Knowledge and Practice to Advance Human Dignity* 9 (2): 127-152. doi: 10.1007/BF00143739.
- FIT. 2012. *Piétons : Sécurité, espace urbain et santé*, Éditions OCDE.
- Gamache, P, D Hamel et C Blaser. 2019. L'indice de défavorisation matérielle et sociale : en bref. Site Web de l'INSPQ: INSPQ. www.inspq.gc.ca/publications/2639.
- Gehl, Jan. 2012. *Pour des villes à échelle humaine*. : Montréal : Les Éditions Écosociété, [2012], ©2012.
- Gourdon, Jean-Loup. 2001. *La rue : essai sur l'économie de la forme urbaine*. La Tour d'Aigues: Aube.

- GrandQuebec.com. 2015. *Feux de circulation*. <https://grandquebec.com/montreal-histoire/feux-de-circulation/#:~:text=C'est%20en%201930%20que,d'arr%C3%AAt%20aux%20principaux%20carrefours>.
- Granié, Marie-Axelle, Thierry Brenac, Marie-Claude Montel, Marine Millot et Cécile Coquelet. 2014. « Influence of built environment on pedestrian's crossing decision. » *Accident Analysis and Prevention* 67 (67): 75-85. doi: 10.1016/j.aap.2014.02.008.
- Guerra, Erick, Xiaoxia Dong et Michelle Kondo. 2019. « Do Denser Neighborhoods Have Safer Streets? Population Density and Traffic Safety in the Philadelphia Region. » *Journal of Planning Education and Research* : 0739456X19845043. doi: 10.1177/0739456X19845043.
- Harari, Yuval N. et Pierre-Emmanuel Dauzat. 2015. *Sapiens : une brève histoire de l'humanité*. Paris: Albin Michel. <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb44403557s>.
- Hosford, Kate, Marie-Soleil Cloutier et Meghan Winters. 2020. « Observational Study of Pedestrian and Cyclist Interactions at Intersections in Vancouver, BC and Montréal, QC. » *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2674 (6): 410-419. doi: 10.1177/0361198120919407.
- INED. 2020. *Analyse Multiniveau*. INED. <https://www.ined.fr/fr/ressources-methodes/methodes-analyses-statistiques/analyse-multiniveau/>.
- Jermprapai, Khajonsak et Sivaramakrishnan Srinivasan. 2014. « Planning-Level Model for Assessing Pedestrian Safety. » *Transportation Research Record* 2464 (1): 109-117. doi: 10.3141/2464-14.
- Jones, Andrew P. et Stig H. Jørgensen. 2003. « The use of multilevel models for the prediction of road accident outcomes. » *Accident Analysis & Prevention* 35 (1): 59-69. doi: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00086-0).
- Joshi, Mary Sissons, Victoria Senior et Graham Paul Smith. 2001. « A diary study of the risk perceptions of road users. » *Health, Risk & Society* 3 (3): 261-279. doi: 10.1080/13698570120079877.
- Kaparias, I., M. G. H. Bell, T. Biagioli, L. Bellezza et B. Mount. 2015. « Behavioural analysis of interactions between pedestrians and vehicles in street designs with elements of shared space. » *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour* 30 (C): 115-127. doi: 10.1016/j.trf.2015.02.009.
- Kim, Joon-Ki, Gudmundur F. Ulfarsson, Venkataraman N. Shankar et Sungyop Kim. 2008. « Age and pedestrian injury severity in motor-vehicle crashes: A heteroskedastic logit analysis. » *Accident Analysis and Prevention* 40 (5): 1695-1702. doi: 10.1016/j.aap.2008.06.005.

- Kummeneje, An-Magritt et Torbjørn Rundmo. 2019. « Risk perception, worry, and pedestrian behaviour in the Norwegian population. » *Accident Analysis and Prevention* 133. doi: 10.1016/j.aap.2019.105294.
- Lam, Lawrence T. 2001. « Parental risk perceptions of childhood pedestrian road safety. » *Journal of Safety Research* 32 (4): 465-478. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-4375\(01\)00061-5](https://doi.org/10.1016/S0022-4375(01)00061-5).
- Laterrasse, Jean. 2018. « Urbanisme et trame urbaine : ce que nous apprend l’histoire des villes. » *e-Phaistos* V (1). doi: 10.4000/ephaistos.1281.
- Loewenstein, George F., Elke U. Weber, Christopher K. Hsee et Ned Welch. 2001. « Risk as Feelings. » *Psychological Bulletin* 127 (2): 267-286. doi: 10.1037/0033-2909.127.2.267.
- Lord, Sébastien, Marie-Soleil Cloutier, Benoît Garnier et Zoi Christoforou. 2018. « Crossing road intersections in old age—With or without risks? Perceptions of risk and crossing behaviours among the elderly. » *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 55: 282-296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.03.005>.
- Merlin, Louis A., Erick Guerra et Eric Dumbaugh. 2019. « Crash risk, crash exposure, and the built environment: A conceptual review. » *Accident* : 105244. doi: 10.1016/j.aap.2019.07.020.
- Miranda-Moreno, Luis F., Patrick Morency et Ahmed M. El-Geneidy. 2011. « The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections. » *Accident Analysis and Prevention* 43 (5): 1624-1634. doi: 10.1016/j.aap.2011.02.005.
- Norton, Peter D. 2007. « Street Rivals: Jaywalking and the Invention of the Motor Age Street. » *Technology and Culture* 48 (2): 331-359. <http://www.jstor.org/stable/40061474>.
- OMS. 2018a. *Global status report on road safety 2018*: OMS.
- — —. 2018b. *Rapport de situation sur la sécurité routière dans le monde 2018 : résumé*. Genève.
- ONUinfo. 2020. *Sécurité routière : il n’y a pas d’excuse pour l’inaction, plaide le chef de l’OMS*. Nations Unies. <https://news.un.org/fr/story/2020/02/1062141#:~:text=La%20D%C3%A9claration%20de%20Stockholm%20invite,routi%C3%A8re%20entre%202020%20et%202030>.

- Osama, Ahmed et Tarek Sayed. 2017. « Macro-spatial approach for evaluating the impact of socio-economics, land use, built environment, and road facility on pedestrian safety. » *Canadian Journal of Civil Engineering* 44 (12): 1036-1044. doi: 10.1139/cjce-2017-0145.
- Paquot, Thierry. 2004. « L'art de marcher dans la ville. » *Esprit (1940-)* (303 (3/4)): 201-214.
- Québec, Gouvernement du. 2018. Transporter le Québec vers la modernité, politique de mobilité durable - 2030. : Bibliothèques et archives nationales du Québec. https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/role_ministere/DocumentsPMD/PMD-09-cadre-intervention.pdf.
- . 2019. La mobilité des personnes dans la région de Québec-Lévis. https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/Planification-transports/enquetes-origine-destination/quebec/2017/Documents/EOD17_faits_saillants_VF.pdf.
- Québec, Transports. 2020. *Feux pour piétons* <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/securite-signalisation/signalisation/signaux-lumineux/Pages/feux-pietons.aspx>.
- R core team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Radio-Canada. 24 décembre 2019. *Montréal connaît son année la plus meurtrière pour les piétons depuis 2010.* <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1448147/mort-route-pietons-bilan-montreal-accident-mortel#:~:text=Aucun%20cycliste%20n'a%20toutefois,s%C3%A9curit%C3%A9%20sur%20les%20passages%20pi%C3%A9tons>.
- Rankavat, Shalini et Geetam Tiwari. 2016. « Pedestrians risk perception of traffic crash and built environment features – Delhi, India. » *Safety Science* 87: 1-7. doi: 10.1016/j.ssci.2016.03.009.
- Road Safety Canada Consulting. 2011. Road safety in Canada. : Gouvernement du Canada.
- SAAQ. 2020a. *Bilan routier régional - Janvier à décembre 2019.* <https://saaq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/espace-recherche/dossier-statistique-bilan-regional-2019.pdf>.
- . 2020b. *Piétons : ce que dit la loi.* <https://saaq.gouv.qc.ca/securite-routiere/moyens-deplacement/a-pied/ce-que-dit-la-loi/>.

- Sacchi, Emanuele et Tarek Sayed. 2016. « Conflict-Based Safety Performance Functions for Predicting Traffic Collisions by Type. » *Transportation Research Record* 2583 (1): 50-55. doi: 10.3141/2583-07.
- Sanders, Rebecca L. 2015. « Perceived traffic risk for cyclists: The impact of near miss and collision experiences. » *Accident Analysis and Prevention* 75: 26-34. doi: 10.1016/j.aap.2014.11.004.
- Saneinejad, Sheyda et Janet Lo. 2015. « Leading Pedestrian Interval: Assessment and Implementation Guidelines. » *Transportation Research Record* 2519 (1): 85-94. doi: 10.3141/2519-10.
- Schwartz, Samuel I. et William Rosen. 2015. *Street smart : the rise of cities and the fall of cars*, First edition. New York, NY: Public Affairs.
- Seo, Sarah A. 2019. *Policing the open road : how cars transformed American freedom*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674240469>.
- Shinar, David. 2017. *Traffic safety and human behavior*.
- Slovic, Paul. 1987. « Perception of Risk. » *Science* 236 (4799): 280. doi: 10.1126/science.3563507.
- Stipancic, Joshua, Luis Miranda-Moreno, Jillian Strauss et Aurélie Labbe. 2020. « Pedestrian safety at signalized intersections: Modelling spatial effects of exposure, geometry and signalization on a large urban network. » *Accident Analysis and Prevention* 134. doi: 10.1016/j.aap.2019.105265.
- Thomas, Rachel. 2007. « La marche en ville. Une histoire de sens. » *L'Espace géographique* 36 (1): 15-26. doi: 10.3917/eg.361.0015.
- Tilander, Gunnar. 1931. « Origine et sens primitif du verbe marcher. » *Romania* : 395-431. https://www.persee.fr/doc/roma_0035-8029_1931_num_57_227_4044.
- Todt, Jean. 2020. Open letter from the UN secretary-general's special envoy for road safety. : ONU.
- Tom, Ariane et Marie-Axelle Granié. 2011. « Gender differences in pedestrian rule compliance and visual search at signalized and unsignalized crossroads. » *Accident Analysis and Prevention* 43 (5): 1794-1801. doi: 10.1016/j.aap.2011.04.012.
- Transport Canada. 2018. *National Collision Database Online*. <https://www.wapps2.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/7/NCDB-BNDC/p.aspx?i=4027&l=en&wk=9#o18>.

- Transports Québec. 2020. *Feux pour piétons*. <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/securite-signalisation/signalisation/signaux-lumineux/Pages/feux-pietons.aspx>.
- Ukkusuri, Satish, Luis F. Miranda-Moreno, Gitakrishnan Ramadurai et Jhael Isa-Tavarez. 2012. « The role of built environment on pedestrian crash frequency. » *Safety Science* 50 (4): 1141-1151. doi: 10.1016/j.ssci.2011.09.012.
- Van Houten, Ron, Richard A. Retting, Charles M. Farmer et Joy Van Houten. 2000. « Field Evaluation of a Leading Pedestrian Interval Signal Phase at Three Urban Intersections. » *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1734 (1): 86-92. doi: 10.3141/1734-13.
- Ville de Montréal. 2020. *État de la sécurité routière 2019 : Vision zéro*. http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORTS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/ETAT_SECURITE_ROUTIERE_2019_FINALE.PDF.
- Yu, Chia-Yuan. 2014. « Environmental supports for walking/biking and traffic safety: Income and ethnicity disparities. » *Preventive Medicine* 67: 12-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.06.028>.
- Zhang, Yaohua, Sha A. Mamun, John N. Ivan, Nalini Ravishanker et Khademul Haque. 2015. « Safety effects of exclusive and concurrent signal phasing for pedestrian crossing. » *Accident Analysis and Prevention* 83: 26-36.

ANNEXE 1 : CERTIFICAT D'ÉTHIQUE



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique en recherche avec des êtres humains a examiné le projet de recherche identifié ci-dessous.

Titre du projet : Projet **STRAPI** : Système de gestion des TRAversées Piétonnes aux Intersections : étude comparative entre Québec et Montréal

Nom du chercheur principal (ou de l'étudiant) : Marie-Soleil Cloutier

Centre : INRS-UCS

Noms des étudiants inscrits à l'INRS dont les mémoires et/ou thèses découleront du projet, le cas échéant :

Hugo Quintin		

Nom du directeur de recherche, le cas échéant : Marie-Soleil Cloutier (INRS)

Nom du co-directeur de recherche, le cas échéant : Owen Waygood (Polytechnique Montréal)

Nom de l'organisme subventionnaire ou de commandite : Accès Transports Viables et Mitacs

Le Comité d'éthique en recherche avec des êtres humains atteste que la recherche proposée impliquant des êtres humains répond aux normes de l'INRS en matière d'éthique.

Président du comité

Isabelle Plante
Nom en lettres moulées


Signature

17/05/2019
Date

CER- 19-504

ANNEXE 2 : GRILLE DE PRÉ-TERRAIN

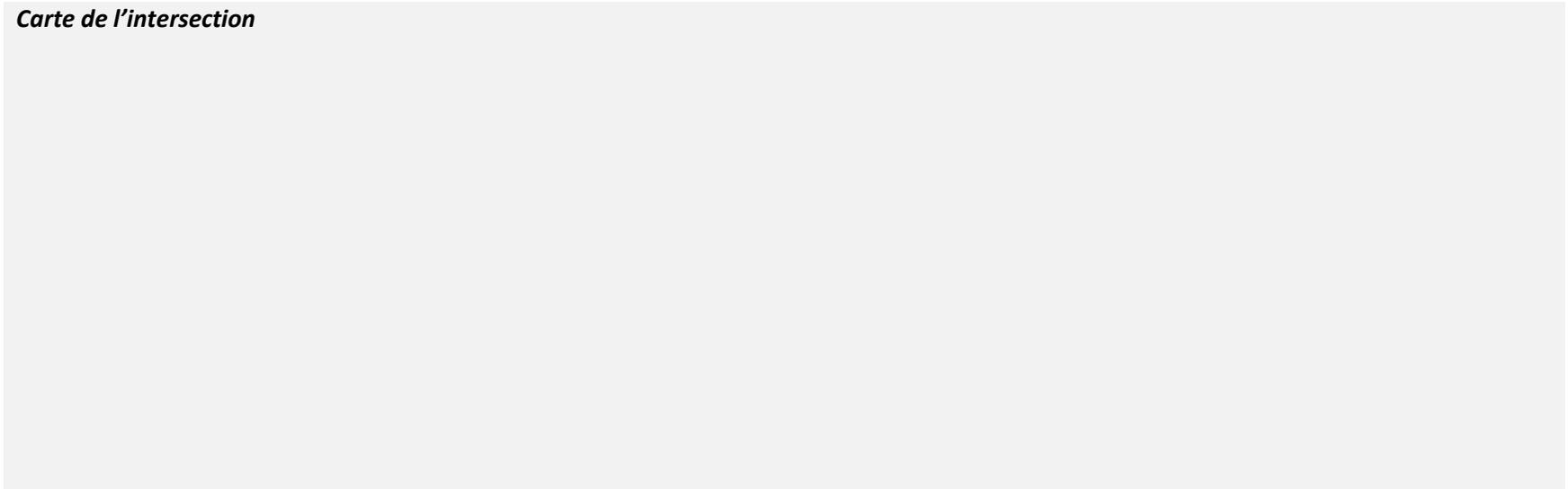
STRAPI – PRÉ-TERRAIN – GRILLE

Intersection	
<i>Rue 1</i>	<i>Rue 2</i>
Groupe	

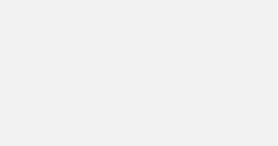
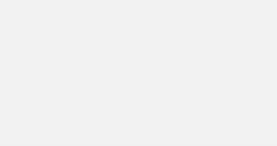
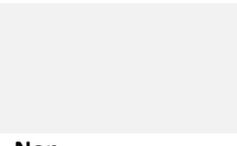
Date :

Observateur :
Heure début observation :
Heure fin observation :

Carte de l'intersection



I) Caractéristiques physiques de l'intersection

Remarques globales	Type d'intersection (en T, stationnement, etc.)	Types de voies (Sens unique, double voie, etc.)	Présence de lampadaires	Marquages au sol (Traversées, bandes blanches, etc.)	Présence d'aménagements modérateurs et lesquels
Structure de l'intersection	Superficie des aires d'attente	Largeur des voies		Largeur des traversées	Présence d'îlots ou de terre-pleins centraux et leur niveau de sécurité
	1 : 2 : 3 : 4 :	A : B : C : D :		A : B : C : D :	
Signalisation pour les autos	Panneaux de signalisation à l'intersection et lesquels	Présence de radars pédagogiques, temporaire ou permanent	Interdiction de tourner à droite	Interdiction de tourner à gauche	Interdiction de tourner à droite au feu rouge
			Oui :  Non.	Oui :  Non.	Oui :  Non.
Signalisation pour les piétons	Type de bouton poussoir	Signal sonore			
		Oui	Non		

Si non présence, écrire « ne s'applique pas ».

II) Cycles des feux et phasage

ID Intersection: _____

Heure: _____

Initiales des observateurs: _____

CHRONO: _____

NOTE: _____

A

B

C

D

FEUX CONTRÔLANT L'APPROCHE C

COCHEZ:

Fin-FL	Fin V	Fin VC	Fin J	Fin R
0 sec.				

FEUX CONTRÔLANT L'APPROCHE D

COCHEZ:

Fin-FL	Fin V	Fin VC	Fin J	Fin R
0 sec.				

FEUX CONTRÔLANT L'APPROCHE B

COCHEZ:

Fin-FL	Fin V	Fin VC	Fin J	Fin R
0 sec.				

FEUX CONTRÔLANT L'APPROCHE A

COCHEZ:

Fin-FL	Fin V	Fin VC	Fin J	Fin R
0 sec.				

Feux contrôlant l'approche A
 FL: flèche verte (tout droit) VC: feu vert virage à gauche (clignotant ou autre)
 V: feu vert J: feu jaune R: feu rouge

III) Chronométrage des feux piétons

ID Intersection: _____
 Heure: _____

Initiales des observateurs: _____
 CHRONO: _____
 NOTE: _____

A

FEU PIÉTON DE L'APPROCHE A

0 sec.	Fin-BP	Fin-B	Fin-MCP	Fin-MC

DÉCOMPTE NUMÉRIQUE
 PROTÉGÉ
 PARTIELLEMENT PROTÉGÉ
 ROUGE
 FLÈCHE VERTE TOUT DROIT
 NON-PROTÉGÉ

1

FEU PIÉTON DE L'APPROCHE D

0 sec.	Fin-BP	Fin-B	Fin-MCP	Fin-MC

DÉCOMPTE NUMÉRIQUE
 PROTÉGÉ
 PARTIELLEMENT PROTÉGÉ
 ROUGE
 FLÈCHE VERTE TOUT DROIT
 NON-PROTÉGÉ

B

FEU PIÉTON DE L'APPROCHE B

0 sec.	Fin-BP	Fin-B	Fin-MCP	Fin-MC

DÉCOMPTE NUMÉRIQUE
 PROTÉGÉ
 PARTIELLEMENT PROTÉGÉ
 ROUGE
 FLÈCHE VERTE TOUT DROIT
 NON-PROTÉGÉ

2

FEU PIÉTON DE L'APPROCHE A

0 sec.	Fin-BP	Fin-B	Fin-MCP	Fin-MC

DÉCOMPTE NUMÉRIQUE
 PROTÉGÉ
 PARTIELLEMENT PROTÉGÉ
 ROUGE
 FLÈCHE VERTE TOUT DROIT
 NON-PROTÉGÉ

3

FEU PIÉTON DE L'APPROCHE C

0 sec.	Fin-BP	Fin-B	Fin-MCP	Fin-MC

DÉCOMPTE NUMÉRIQUE
 PROTÉGÉ
 PARTIELLEMENT PROTÉGÉ
 ROUGE
 FLÈCHE VERTE TOUT DROIT
 NON-PROTÉGÉ

4

FEU PIÉTON DE L'APPROCHE D

0 sec.	Fin-BP	Fin-B	Fin-MCP	Fin-MC

DÉCOMPTE NUMÉRIQUE
 PROTÉGÉ
 PARTIELLEMENT PROTÉGÉ
 ROUGE
 FLÈCHE VERTE TOUT DROIT
 NON-PROTÉGÉ

Feu piéton de l'approche A
 BP: bonhomme protégé
 B: bonhomme
 MCP: main clignotante protégée
 MC: main clignotante

IV) Comptage piéton

Traversées	Traversée A	Traversée B	Traversée C	Traversée D	Traversée en diagonale?
Nombre de piétons	Direction N :	Direction E :	Direction N :	Direction E :	E-O :
	Direction S :	Direction O :	Direction S :	Direction O :	N-S :

V) Commentaires

ANNEXE 3 : LETTRE D'ACCEPTATION POUR PUBLICATION DE L'ARTICLE INSÉRÉ DANS CE MÉMOIRE



Laurent Carnis
laurent.carnis@univ-eiffel.fr |

À Marne-la-Vallée, le 12 avril 2021 |

M. Quintin Hugo
INRS
Montréal
Québec-Canada |

Objet : Acceptation pour publication
Référence : Article RTSE-D-20-00023R1 |

Monsieur,

Je soussigné Laurent CARNIS, rédacteur en chef invité pour le numéro spécial "Sur deux roues ou sur deux pieds : comment améliorer la sécurité des cyclistes, des piétons et des utilisateurs de nouveaux modes de déplacement ?" pour la Revue Transport Sécurité, avoir reçu un article intitulé :

Sécurité vécue et perçue par les piétons aux intersections signalées : comparaison entre l'environnement bâti, routier et le phasage des feux à Montréal et Québec, Canada

Les auteurs de l'article sont M. Hugo Quintin, Marie-Soleil Cloutier et Waygood Owen .

Après une évaluation par deux relecteurs, l'article a été retenu pour publication dans la revue.

Laurent Carnis