

Université de Montréal

**Évolution du nombre de piétons et d'occupants de véhicules
blessés aux intersections à la suite de l'implantation de mesures
d'apaisement de la circulation à Montréal**

Par

Ronaldo Lauriano Cândido

Département de médecine sociale et préventive

École de santé publique

Mémoire présenté

en vue de l'obtention du grade de M. Sc. en santé publique

8 décembre 2016

© Ronaldo Lauriano Cândido, 2016

Université de Montréal
École de santé publique de l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

**Évolution du nombre de piétons et d'occupants de véhicules
blessés aux intersections à la suite de l'implantation de mesures
d'apaisement de la circulation à Montréal**

Présenté par

Ronaldo Lauriano Cândido

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Éric Robitaille, président-rapporteur

Patrick Morency, directeur de recherche

Yan Kestens, co-directeur de recherche

Marie-France Raynault, membre du jury

RÉSUMÉ

Introduction : Au cours des dernières années, l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation gagne en «popularité» à Montréal; cependant aucune étude n'a été réalisée afin d'estimer l'effet de ces interventions sur la variation du nombre de blessés de la route à Montréal. **Objectif :** Estimer l'association entre l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation du type saillies de trottoir et dos-d'âne et la variation annuelle du nombre de piétons et d'occupants de véhicules blessés aux intersections de quatre arrondissements de la Ville de Montréal de 2000 à 2014. **Méthode :** Le devis est longitudinal du type avant-après avec groupe contrôle. Les données sur les mesures d'apaisement de la circulation ont été collectées auprès de professionnels de 4 arrondissements de l'île de Montréal et leur implantation a été validée en utilisant Google Street View – Time Machine. Les caractéristiques des intersections mesurées incluent les volumes estimés de véhicules et de piétons (l'enquête Origine-Destination 2008), la présence d'artères (réseau artériel métropolitain) et le nombre de branches (réseau routier *Open Street Map*). Le nombre de blessés aux intersections provient des rapports d'accidents policiers (SAAQ). Des analyses de régression de Poisson, multiniveaux à deux niveaux, ont été réalisées pour expliquer la variation annuelle du nombre de piétons et d'occupants de véhicules blessés aux intersections. Les analyses incluent les caractéristiques des intersections (modèles A et B) ainsi que l'évolution annuelle du nombre de blessés (modèles B). **Résultats :** De 2004 à 2014, au moins 15,0% des intersections sur l'ensemble du territoire des quatre arrondissements ont bénéficié d'une mesure d'apaisement, principalement depuis 2011. En prenant en compte les autres

caractéristiques des intersections, les saillies de trottoirs sont associées à une réduction de 23% du nombre de piétons blessés [IRR= 0,766; 95% IC= 0,633-0,928] et une réduction de 54% du nombre d'occupants de véhicules blessés [IRR= 0,456; 95% IC= 0,392-0,530]. La présence de dos-d'âne sur un tronçon adjacent à l'intersection est associée à une réduction de 54% du nombre d'occupants de véhicules blessés à l'intersection [IRR= 0,461; 95% IC= 0,380-0,560]. En contrôlant pour l'évolution temporelle du nombre de blessés (modèles B), les saillies de trottoirs [IRR= 0,696; 95% IC= 0,598-0,811] et les dos-d'âne [IRR= 0,713; 95% IC= 0,587-0,867] sont associés de manière statistiquement significative à une réduction du nombre d'occupants de véhicules blessés. **Conclusion :** L'analyse désagrégée, aux intersections, et la prise en compte de l'évolution temporelle du nombre de blessés déclarés constituent des forces de l'étude. Toutefois, l'évolution temporelle du volume de véhicules et de piétons n'a pas été prise en compte. Les résultats sont cohérents avec ceux rapportés dans la littérature sur les effets préventifs de mesures d'apaisement de la circulation. De plus, notre étude améliore les connaissances en évaluant l'efficacité de deux mesures spécifiques (saillie de trottoir et dos-d'âne) sur le nombre de piétons et occupants de véhicules blessés aux intersections.

Mots-clés : Mesure d'apaisement de la circulation, Environnement bâti, Saillie de trottoir, Dos-d'âne, Évolution temporelle, Google Street View, Santé publique.

ABSTRACT

Background: For the past few years, the implantation of traffic calming measures has gained in "popularity" in Montreal; however, no study has been conducted to assess the impact of these measures on the variation in the number of road injuries in Montreal. **Objective:** Determine the relation between the implantation of traffic calming (curb extensions and speed bumps), and the annual variation in the number of pedestrians and vehicle occupants injured at the intersections of four boroughs of the City of Montreal between 2000 and 2014. **Methods:** Study design is longitudinal, before-after type with a control group. The data pertaining to the traffic calming measures were collected from professionals from the four boroughs and their actual implantation was checked using Google Street View – Time Machine. Other intersections characteristics include the estimated volumes of vehicles and pedestrians (Origin-Destination survey, 2008), the presence of major roads (metropolitan arterial roads network) and the number of roads stemming from the intersection (*Open Street Map* road network). The numbers of people injured at the intersections were collected from accident police reports (SAAQ). Multilevel regression analyses (Poisson), over two levels, were conducted to explain the yearly variation in the number of injured pedestrians and vehicle occupants at intersections. The analyses include the intersections specifications (A and B models) as well as the annual evolution of the number of injured people (B models). **Results:** Between 2004 and 2014, at least 15.0% of the intersections of the whole four districts benefited from a calming measure, mainly from 2011 and after. Taking into account the other intersections characteristics, curb extensions are associated with a 23% decrease in

the number of injured pedestrians [IRR= 0,766; 95% IC= 0,633-0,928] and a 54% decrease in the number of injured vehicle occupants [IRR= 0,456; 95% IC= 0,392-0,530]. The presence of speed bumps on an adjacent road section is associated with a 54% decrease in the number of injured vehicle occupants at the intersection [IRR= 0,461; 95% IC= 0,380-0,560]. Considering also the temporal decrease in the number of injured people (B models), curb extensions [IRR= 0,696; 95% IC= 0,598-0,811] and speed bumps [IRR= 0,713; 95% IC= 0,587-0,867] are significantly associated with a decrease in the number of injured vehicle occupants. **Conclusion:** The strengths of the study reside in the disaggregated analysis conducted at the intersections, and in taking into account the temporal trend. The results are consistent with those reported in the literature on the preventive impacts of traffic calming measures. Moreover, our study helps improve our current knowledge in assessing the impact of two specific measures (curb extensions and speed bumps) on the number of pedestrians and vehicle occupants injured at intersections.

Keywords: Traffic calming measures, Built environment, Curb extension, Speed bump, Temporal trend, Google Street View, Public health

TABLE DE MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT.....	iv
TABLE DE MATIÈRES	vi
LISTE DE TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	x
REMERCIEMENTS	xi
DÉDICACE	xiii
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET RECENSION DES ÉCRITS	1
Introduction.....	2
Recension des écrits.....	8
Environnement bâti et variation du nombre de blessés en milieu urbain.....	10
Mesures d'apaisement de la circulation.....	13
Rappel historique	13
L'efficacité des mesures d'apaisement de la circulation	15
Études n'identifiant pas les types de mesures d'apaisement	15
Études identifiant les types de mesures d'apaisement	18
Limites de études antérieures et pertinence de la recherche	21
Cadre conceptuel.....	22
Question de recherche, hypothèse et objectifs.....	24
Hypothèses.....	24
Objectifs.....	24
CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE.....	25
Territoire de l'étude	26
Échantillonnage.....	26
Sources des données	27
1 - Réseau routier.....	27
2 - Mesures d'apaisement de la circulation.....	27
3 - Enquête Origine-Destination 2008	32

4 - Données de blessés 2000-2014.....	33
5 - Hiérarchie routière.....	33
Mesures.....	34
Variables dépendantes	34
Variables indépendantes	34
Analyses statistiques.....	39
Considérations éthiques	40
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS	41
Analyses descriptives.....	42
Implantation des mesures d'apaisement de la circulation.....	42
Nombre de piétons et d'occupants de véhicules blessés.....	43
Analyses bivariées	48
Analyses multivariées.....	51
Saillies de trottoir.....	51
Dos-d'âne.....	52
Caractéristiques des intersections	52
CHAPITRE 4 : DISCUSSION.....	54
Implications de l'étude.....	59
Limites	60
Forces.....	61
CONCLUSION	63
LISTE DE RÉFÉRENCES	66
ANNEXE A – CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE	xiv
ANNEXE B – GLOSSAIRE ET DÉFINITIONS.....	xvii
ANNEXE C – CARTES DE DISTRIBUTION DE MESURES D'APAISEMENT DE LA CIRCULATION AUX INTERSECTIONS ET AUX TRONÇONS DES QUATRES ARRONDISSEMENTS À L'ÉTUDE	xx

LISTE DE TABLEAUX

Tableau I – Distribution du nombre total de mesures d’apaisement de la circulation (2004-2014) en fonction du type de mesure et du lieu de l’implantation (intersection ou tronçon).....	28
Tableau II – Présentation de variables à l’étude	38
Tableau III – Répartition des mesures d'apaisement de la circulation selon les caractéristiques des intersections	45
Tableau IV – Nombre moyen de piétons et d’occupants de véhicules blessés (2000–2014) selon les caractéristiques des intersections (n= 3371).....	46
Tableau V – Régression multivariée entre les mesures d’apaisement de la circulation et la variation du nombre de piétons blessés aux intersections.....	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Cadre conceptuel des facteurs susceptibles d’influencer la variation du nombre de blessés en milieu urbain	23
Figure 2 – Illustration de la méthode de validation de mesure d’apaisement de la circulation avec Google Street View (photo avant-après)	30
Figure 3 – Schéma de sélection des mesures d’apaisement de la circulation incluses dans l’étude	31
Figure 4 – Schéma d’attribution de saillies de trottoirs et de dos-d’âne aux intersections.....	35
Figure 5 – Types d’intersections selon le nombre de branches	36
Figure 6 - Évolution temporelle du nombre d’intersections avec mesures d’apaisement de la circulation (2004-2014)	47
Figure 7 - Évolution temporelle du nombre moyen de blessés aux intersections selon catégories d’usagers de la route (2000-2014)	47

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

IREC	Institut de recherche en économie contemporaine
OMS	Organisation mondiale de la santé
SAAQ	Société de l'assurance automobile du Québec
DRSP	Direction régionale de santé publique
ITE	Institute of Transportation Engineers
ATC	Association des transports du Canada
CITE	Canadian Institute of Transportation Engineers
OR	Odds ratio
IC	Intervalle de confiance
IRR	Incidence rate ratio
VUR	Vulnerable road users
AMT	Agence métropolitaine de transport
SIG	Système d'information géographique
CRCHUM	Centre de recherche du centre hospitalier de l'Université de Montréal
AMT	Agence métropolitaine de transport
OD	Origine-destination
RMR	Région métropolitaine de recensement

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'appui financier de la Chaire des IRSC en santé publique appliquée - Interventions Urbaines et santé des populations, affiliée au Centre de recherche du centre hospitalier de l'Université de Montréal pour m'avoir permis de mener à terme ce projet de maîtrise.

Je remercie personnellement monsieur Patrick Morency et monsieur Yan Kestens, qui malgré leur charge de travail, ont accepté de me diriger et ont été présents tout au long du processus de recherche. À monsieur Morency, merci d'avoir partagé volontiers vos connaissances cumulées en matière de traumatologie routière, j'admire votre passion et votre engagement professionnel et personnel à l'amélioration de la qualité des déplacements à Montréal. À monsieur Kestens, merci de m'avoir encouragé avec votre façon positive, j'admire votre compétence et votre passion pour la recherche et cela sans oublier votre approche humaine.

Merci à l'équipe du CRCHUM - SPHERELAB pour leur soutien et à l'équipe de la Direction de la santé publique pour leur collaboration, notamment madame Sophie Goudreau pour le développement du cadre et pour la saisie des données sur les mesures d'apaisement de la circulation, madame Céline Plante et monsieur Michel Fournier pour leur soutien lors des analyses multiniveaux, ainsi que François Tessier pour la localisation des blessés sur le réseau routier.

Merci à ma famille, qui m'a supporté tout au long de ces deux dernières années, particulièrement à mon épouse qui a toujours cru à ce projet et m'a encouragé à aller de l'avant.

DÉDICACE

Je dédie cette œuvre à la mémoire de tous ceux et celles qui ont été victimes d'un accident de la route, notamment à ceux et celles qui sont décédés. Malgré le fait que toute la recherche a été réalisée à partir de chiffres, j'ai toujours eu dans mon esprit la conscience que derrière ces chiffres il y a des personnes, des histoires d'amour amputées, des familles brisées, des parents, des grands-parents, des enfants, des frères et sœurs qui sont partis. J'ai un grand respect pour eux et j'espère que ce travail de recherche pourra contribuer à éviter que d'autres vies soient enlevées, car tout cela peut être évité.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET RECENSION DES ÉCRITS

Introduction

Pour des raisons sociales, économiques et politiques, le mode de transport axé sur l'utilisation de la voiture est le mode privilégié dans la majorité des villes nord-américaines (Rodrigue *et coll.*, 2006, p. 171). Au Québec, les assises du système de transport comme on le connaît aujourd'hui ont été développées notamment à partir de la Révolution tranquille, permettant l'adaptation des infrastructures de la province aux impératifs d'une société de consommation (IREQ, 2014). Cependant le choix du type d'infrastructure de transport n'est pas sans conséquence sur la santé des populations (O. Raaschou-Nielsen *et coll.*, 2012; O. Raaschou-Nielsen *et coll.*, 2011; Van Wee, 2007; Woodcock *et coll.*, 2007). Les effets néfastes de l'utilisation massive des voitures sur la santé sont bien documentés. Ces études démontrent entre autres, de graves problèmes liés à la pollution de l'air (Beelen *et coll.*, 2014; Brauer *et coll.*, 2015; Finkelstein *et coll.*, 2004; O. Raaschou-Nielsen *et coll.*, 2012; Samet, 2007), à la pollution sonore (Babisch, 2014; Gan *et coll.*, 2012; Sørensen *et coll.*, 2013; Sørensen *et coll.*, 2012) et à la sécurité routière (Beck *et coll.*, 2007; Beelen *et coll.*, 2014; Gårder, 2004; Grahame *et coll.*, 2014; Kim *et coll.*, 2012; Puvanachandra *et coll.*, 2013; Strauss *et coll.*, 2014; von Stackelberg *et coll.*, 2013).

En 2012, les décès dus aux collisions de la route occupaient le 9^e rang des causes de décès au monde (OMS, 2014). Une analyse de l'évolution temporelle du nombre de blessés au Canada et au Québec sur une période de 10 ans (2003-2013) nous permet d'observer l'ampleur de la problématique. Malgré une réduction d'environ 30,65% et 37,24 % du nombre de victimes

décédées et 31,73% et 45,64% du nombre de victimes grièvement blessées au Canada et au Québec respectivement, le nombre de victimes demeure toujours élevé. De 2003 à 2010, au moins 26 941 personnes ont perdu la vie et 2 184 713 ont été blessées sur les routes canadiennes (Transport Canada, 2013). Seulement au Québec, au cours de la même période, la Société d'assurance automobile du Québec a enregistré 6 071 décès et 420 791 blessés (SAAQ 2008, SAAQ, 2014). À Montréal, une analyse sommaire des données de blessés entre la période 2000 et 2014, nous permet de constater qu'au moins 33 290 piétons et cyclistes ont été blessés ou sont décédés et 86 842 occupants de voiture ont été blessés ou sont décédés suite à une collision sur le réseau routier montréalais (DRSP, 2016).

Cette problématique est bien connue à Montréal depuis plusieurs années et de nombreuses publications en ont fait état (Agence de la santé et des services sociaux de Montréal *et coll.*, 2013; Agence de la santé et des services sociaux de Montréal Direction de santé publique, 2007; Agence de la santé et des services sociaux de Montréal Direction de santé publique, King, *et coll.*, 2007; Agence de la santé et des services sociaux de Montréal Direction de santé publique *et coll.*, 2007; Drouin *et coll.*, 2006; Patrick Morency *et coll.*, 2012; Patrick Morency *et coll.*, 2013).

La prévention des décès et des blessures dues aux collisions de la route fait partie des préoccupations de la santé publique depuis déjà longtemps (Agence de la santé et des services sociaux de Montréal *et coll.*, 2013; Botchwey *et coll.*, 2014; Brugge *et coll.*, 2002; Jones *et coll.*, 2005a; King *et coll.*, 2005). En milieu urbain, les types d'aménagement du territoire et les choix d'infrastructures ont un effet significatif, voire déterminant sur l'exposition aux

risques de collision. (R. Ewing et Dumbaugh, 2009; Retting *et coll.*, 2003a; Tester *et coll.*, 2004). Or, des interventions qui modifient l'environnement bâti des villes peuvent contribuer à l'adoption de comportements susceptibles de réduire les risques de collisions.

Dans cette perspective, il est du ressort des autorités municipales de mettre en place ces politiques, afin de réduire l'exposition aux risques. Dans ce sens, les autorités municipales jouent un rôle majeur, car ce sont eux les principaux acteurs qui interviennent sur le cadre bâti des villes. En effet, les environnements bâtis que nous trouvons dans les villes d'aujourd'hui sont en partie les résultats de décisions politiques nationales et régionales qui produisent et reproduisent des espaces de vie.

Les mesures d'apaisement de la circulation sont un exemple d'intervention sur l'environnement bâti dont sa mise en place dépend de la capacité d'action de l'État et de sa volonté d'agir. Cependant, il est faux de croire que la participation d'autres acteurs est exclue du processus de mise en œuvre des mesures d'apaisement de la circulation, bien au contraire. L'implantation de mesures d'apaisement de la circulation est en grande partie, une réaction aux demandes de ces autres acteurs sociaux qui appellent à une amélioration de leurs milieux de vie (ITE, 2016).

D'une manière générale, les mesures d'apaisement de la circulation se sont avérées efficaces pour réduire le nombre de victimes de collision routière (F. Bunn *et coll.*, 2003a; Frances Bunn *et coll.*, 2009; Elvik, 2001b; Elvik *et coll.*, 2013; Jones *et coll.*, 2005b; Retting *et coll.*, 2003b). Cependant, l'efficacité des stratégies dépend d'une évaluation appropriée des besoins,

du type de mesure implantée, mais également de son contexte d'implantation (City Calgary, 2006; City of London, 2015; City of Toronto, 2002; City of Windsor, 2005; Ville de Saint-John, 2012)

L'effet potentiel d'une mesure d'apaisement de la circulation sur le nombre de blessés dans une zone est nécessairement tributaire de l'intensité du programme de prévention et de la proportion du territoire couvert (Yannis *et coll.*, 2014a). À Montréal, on constate que l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation est en hausse dans certains arrondissements centraux montréalais, principalement depuis 2008.

Il est commun notamment dans la «littérature grise» de trouver l'utilisation du terme politique d'apaisement de la circulation pour se référer aux mesures d'apaisement de la circulation. Bien entendu, ce sont de termes souvent interchangeables, mais la distinction entre les deux est importante.

Les politiques d'apaisement de la circulation fournissent les lignes directrices, établissant les procédures et critères d'évaluation et mise en œuvre des mesures d'apaisement de la circulation. Les politiques d'apaisement de la circulation répondent au besoin de planification globale des stratégies d'apaisement de la circulation, de manière à optimiser les ressources à investir et les résultats à atteindre (City Calgary, 2006; City of Toronto, 2002). Or, une politique d'apaisement de la circulation a comme but d'assurer que les problèmes liés à l'excès de vitesse et le volume excessif de trafic dans les zones résidentielles soient traités d'une manière juste, transparente et efficace.

Contrairement aux politiques d'apaisement de la circulation telle que définie ci-dessus, les mesures d'apaisement de la circulation font référence à l'application concrète d'une combinaison d'interventions notamment physiques sur l'environnement bâti, normalement résultant d'une évaluation des besoins qui peuvent répondre à des fins multiples.

À partir de la problématique des collisions de la route à Montréal présentée précédemment et de l'augmentation du nombre de mesures d'apaisement de la circulation implantées par certains arrondissements, il nous semble pertinent d'évaluer dans quelle mesure ces interventions sur le cadre bâti de la ville, connues sous le nom de mesure d'apaisement de la circulation ont contribué à la réduction du nombre de blessés de la route à Montréal. Plus spécifiquement, nous sommes intéressés à connaître l'association entre l'implantation de saillies de trottoir et des dos-d'âne et la variation du nombre de piétons blessés et d'occupants de véhicules blessés de la route à Montréal. Nous restreignons notre étude à ces deux types d'intervention, d'abord, parce que ce sont deux types de mesures d'apaisement de la circulation répandues à Montréal et parce que, contrairement à un simple marquage, elles modifient l'environnement bâti de façon pérenne. Il est important de noter également que l'effet potentiel de mesures d'apaisement de la circulation sur le nombre de cyclistes blessés a été exclu de cette étude pour les raisons suivantes. Premièrement, de nombreux aménagements pour les cyclistes ont été réalisés au cours de dernières années, et la prise en compte des voies cyclables dépasse le cadre de cette maîtrise. Deuxièmement, selon la littérature, la présence de piste cyclable a un effet sur la variation du nombre de blessés mais aussi sur le nombre de cyclistes (Zahabi *et coll.*, 2016). Troisièmement, on constate une augmentation importante du

volume de cycliste qui circule sur le réseau routier de Montréal au cours de la période de l'étude, et la méthode utilisée dans notre étude pour estimer le volume de véhicule et de piétons ne permettait pas d'estimer l'évolution du volume de cyclistes aux intersections. Ces contraintes majeures nous empêchent d'inclure la variation du nombre de cycliste blessé dans notre étude.

Recension des écrits

Cette recension des écrits est organisée en 5 segments. Le premier segment présente sommairement l'approche actuelle de prévention de blessures. Le deuxième segment présente les connaissances au sujet de caractéristiques de l'environnement bâti; autres que les mesures d'apaisement de la circulation; associées à la variation du nombre de blessés en milieu urbain. Le troisième segment dresse un bref rappel historique de mesures d'apaisement de la circulation et les principaux mécanismes d'action des saillies de trottoir et de dos d'âne. Le quatrième segment est dédié aux études portant sur l'efficacité des mesures d'apaisement de la circulation sur le nombre de collisions et de blessés. Le cinquième et dernier segment présente les principales limites avec lesquels la recherche sur l'efficacité de mesures d'apaisement de la circulation sont confrontées et la pertinence de la présente recherche.

Approche de prévention des blessures

Dans le domaine de la sécurité routière, les piétons, les cyclistes et les motocyclistes sont classés comme étant des usagers vulnérables de la route, les VUR «vulnerable road users» (Otte, Jänsch *et coll.*, 2012, Gupta, Menon *et coll.*, 2015). Contrairement aux occupants de véhicules, les «VUR» ne bénéficient pas des systèmes de protection offerts par les véhicules (ex. ceinture de sécurité, sacs gonflables, zone de déformation et d'absorption d'énergie). En Allemagne, une étude sur les mécanismes des blessures chez les usagers vulnérables de la route, basée sur un échantillon représentatif pour l'ensemble du pays, a comparé la fréquence et la gravité des blessures parmi les piétons, les cyclistes et les motocyclistes. Les résultats

confirment que les piétons sont les plus vulnérables, en raison d'une absence totale de mécanismes de protection, tels qu'un casque ou des vêtements de sécurité. (Otte, Jänsch *et coll.*, 2012).

Les blessures étant la résultante d'un transfert d'énergie du véhicule en mouvement qui dépasse la capacité du corps humain (Haddon, 1980; Khorasani-Zavareh *et coll.*, 2015), l'absence de systèmes de protection rend le corps plus vulnérable lors d'une collision. Cette notion de systèmes de protection nous renvoie à l'approche actuelle de prévention des traumatismes proposée par Haddon (1980). Selon Haddon, trois grands groupes de facteurs peuvent être objet d'une intervention : l'humain (hôte), l'agent agresseur (véhicule) et l'environnement. L'intervention peut viser à éviter la survenue d'un accident (pré-traumatisme); à éviter la survenue d'une blessure pendant l'accident (per-traumatisme) ou à réduire les conséquences de la blessure suite à l'accident (post-traumatisme) (Haddon, 1968). Ainsi, des stratégies autres que celles visant l'environnement physique existent afin d'améliorer la sécurité des usagers de la route, par exemple des campagnes publicitaires visant à la modification des comportements (Fleiter *et coll.*, 2014; Guttman, 2014; Hutchinson et Wundersitz, 2011). Toutefois, les stratégies ciblant l'environnement physique semblent être celles qui ont démontré une plus grande efficacité (Haddon, 1980; Peek-Asa et Zwerling, 2003).

Environnement bâti et variation du nombre de blessés en milieu urbain.

Les connaissances cumulées au sujet de la sécurité routière nous permettent d'envisager une compréhension de cette problématique dans une perspective multifactorielle, où les caractéristiques contextuelles, comportementales et environnementales sont en relation complexe. Il est à noter que certains facteurs, présentés ci-dessous, agissent comme des médiateurs entre l'environnement bâti et les collisions en milieu urbain, soit principalement le volume de véhicules, la vitesse de circulation et les conflits potentiels entre les usagers de la route. (Abdel-Aty et Haleem, 2011; Botchweyet *coll.*, 2014; R. Ewing et Dumbaugh, 2009; Fuller et Morency, 2013; Miranda-Moreno *et coll.*, 2011; Otte *et coll.*, 2012; Strausset *coll.*, 2014; Megan Wier *et coll.*, 2009). L'association entre les mesures d'apaisement de la circulation et le nombre de collisions, de blessés ou de décès est présentée dans la section suivante.

Par l'environnement bâti on fait référence aux caractéristiques physiques de l'environnement (Botchweyet *coll.*, 2014; Saelens et Handy, 2008), incluant l'utilisation du sol et le système de transport (Handy *et coll.*, 2002). Ces caractéristiques affectant la direction ou l'intensité de la relation entre le volume de véhicules, le volume de piétons et la vitesse de circulation sur le nombre de blessés; caractéristiques fortement associées au nombre de piétons blessés et à la gravité de blessure (Abdel-Aty et Haleem, 2011; Brugge *et coll.*, 2002; Elvik *et coll.*, 2013; Haleem *et coll.*, 2013; Li *et coll.*, 2013; Miranda-Moreno *et coll.*, 2011; P. Morency *et coll.*, 2012; Otte *et coll.*, 2012; Wier *et coll.*, 2009).

Les effets de l'utilisation du sol sur le nombre de collisions avec blessés sont le résultat à la fois de la nature et de l'intensité des activités réalisées sur un territoire donné. Certaines études mesurent directement les volumes de véhicules et de piétons, tandis que d'autres utilisent les types d'utilisation du sol comme proxy pour estimer ces deux variables (Elias et Shiftan, 2014; Priyantha Wedagama *et coll.*, 2006; M. Wier *et coll.*, 2009). Le nombre de collisions avec blessés est associé à une forte densité de population, de commerces de détail, de bureaux, de bars et de clubs nocturnes, principalement via les volumes de véhicules générés (Dissanayake *et coll.*, 2009; Jones *et coll.*, 2005a; Lascala *et coll.*, 2000; Priyantha Wedagama *et coll.*, 2006; Rothman *et coll.*, 2014). L'étalement urbain contribue à augmenter l'exposition des occupants de véhicule au risque de collision, en fonction du nombre de kilomètres parcouru (Reid Ewing *et coll.*, 2003). Ewing and Dumbaugh (2009), ont démontré la présence d'une relation linéaire entre le volume de kilomètres parcourus en véhicules (*vehicle miles traveled*) par une population et le taux per capita de décès routiers.

L'hétérogénéité des caractéristiques du réseau routier et ses multiples configurations sont associées à une possibilité de conflits entre les utilisateurs de la route. Les études démontrent que la variation du nombre de collisions avec blessés est associée à la présence d'intersections et au nombre de branches à l'intersection (Abdel-Aty et Haleem, 2011; Brugge *et coll.*, 2002; Ha et Thill, 2011; Miranda-Moreno *et coll.*, 2011). La présence d'artères, la longueur des tronçons et le nombre de voies de circulation sont associés à une présence accrue des voitures et à une augmentation de la vitesse, cette dernière étant fortement associée au nombre de collisions avec blessés (R. Ewing et Dumbaugh, 2009; Lars Leden, 2002; Siddiqui *et coll.*,

2012; Tiwari *et coll.*, 2007). À Montréal, la vocation du réseau artériel est d'assurer le déplacement des personnes et de marchandise entre les municipalités, ce qui se traduit dans la pratique par une limite de vitesse de 50 km/h et, généralement, par un plus grand nombre de voies de circulation. Le réseau routier hiérarchisé est constitué d'autoroutes, d'artères, de collectrices et de rues locales (CMM, 2013). La hiérarchisation du réseau routier montréalais soulève des enjeux de sécurité (Patrick Morency *et coll.*, 2007), puis qu'en milieu urbain la majorité des accidents de la route ont lieu sur les voies de circulation désignées comme artères.

La distribution spatiale du nombre de blessés sur un territoire varie selon la position socio-économique des individus et des quartiers, les populations des quartiers moins favorisés étant plus à risque d'être impliqué dans une collision routière (Faelker *et coll.*, 2000; L. Laflamme *et coll.*, 2009; Licaj *et coll.*, 2011). Selon une revue systématique réalisé par Laflamme and Diderichsen (2000) les études portant sur la position socio-économique des individus et le nombre de blessés ne disposent pas des modèles explicatifs permettant une compréhension des causes sous-jacentes de cette variation, toutefois, les auteurs avancent l'hypothèse d'une exposition différentielle au risque. Les résultats d'une étude réalisée à Montréal soutiennent cette hypothèse. Selon les auteurs de l'étude, le nombre de collisions plus élevé dans les quartiers moins favorisés s'expliquerait par un plus grand volume de véhicules aux intersections, résultat des caractéristiques propres au réseau routier à ces endroits. (P. Morency *et coll.*, 2012).

Mesures d'apaisement de la circulation

Rappel historique

Ce bref rappel historique nous permettra de mieux comprendre le développement des mesures d'apaisement de la circulation comme une réponse aux problèmes générés par la circulation automobile en milieu urbain. Débutée à la fin des années 60 au Pays-Bas, l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation a été le résultat des mouvements populaires où les habitants de la ville de Delft, insatisfaits de la qualité de vie dans leurs quartiers, ont réussi à adapter les rues et à les transformer en espaces plus agréables (R. Ewing, 1999; Kjemtrup et Herrstedt, 1992; Yanniset coll., 2014a). Suivi par d'autres pays européens au cours des décades suivantes, le modèle de rue partagée initié au Pays-Bas a été implanté en Allemagne, en Suède, au Danemark, en Angleterre, en France, au Japon, en Israël, en Autriche et en Suisse (Kjemtrup et Herrstedt, 1992). Aux États-Unis, Berkeley et Seattle ont été les villes à l'avant-garde du changement de l'environnement urbain en réduisant les effets négatifs de la circulation routière dans les quartiers résidentiels dès les années 70 (ITE, 2016). Dans le cadre de ce mémoire, nous n'étions pas en mesure d'identifier quand les mesures d'apaisement de la circulation ont pris leur élan au Canada. En 1998 l'Association des transports du Canada a publié le *Guide canadien d'aménagement de rues conviviales*, dont l'un des objectifs était d'établir des balises plus claires, des bonnes pratiques dans le domaine. Ce guide est utilisé à la grandeur de l'Amérique du Nord (Association des transports du Canada, 2016).

L'évolution du cadre bâti des villes en ce qui concerne les mesures d'apaisement de la circulation se fait de façon graduelle et discontinue, et est fortement influencé par le contexte sociopolitique de chaque ville. Plusieurs villes au Canada sont dotées d'un cadre légal centralisé de politiques d'apaisement de la circulation afin d'assurer la cohérence de l'implantation des mesures. (City Calgary, 2006; City of Toronto, 2002; City of Windsor, 2005). La ville de Montréal ne dispose pas d'un tel plan intégré de politique d'apaisement de la circulation, de sorte que chaque arrondissement suit ses propres critères.

Les mesures d'apaisement de la circulation couvrent un grand éventail d'interventions, telles que : carrefour giratoire, chicane, dos d'âne, dos-d'âne allongé, fermeture de rue, impasse, cul-de-sac, goulot d'étranglement, marquage au sol, certains panneaux de signalisation, passage pour piétons surélevé, piste cyclable, radar, saillies de trottoirs, terre-plein ou refuge central, etc. (Association des transports du Canada, 2001; R. Ewing, 1999). Bien que les mécanismes d'action des mesures d'apaisement de la circulation varient selon le type de mesure, l'action ultime est de réduire la vitesse et/ou le volume de véhicules. Un dos-d'âne est une surélévation de la chaussée qui oblige le conducteur à réduire la vitesse lors du passage, sous peine de provoquer un inconfort pour les occupants du véhicule, et son efficacité dépendra, entre autres, de ses dimensions (ex. hauteur, largeur) ainsi que de la distance entre les dos-d'âne (Association des transports du Canada, 2001). La saillie de trottoir est un prolongement horizontal du trottoir qui rétrécit la chaussée; parmi ses mécanismes d'action, on note une réduction de la vitesse des véhicules, la réduction de la longueur de la traversée piétonne, une augmentation de la visibilité tant pour le piéton que pour les conducteurs ainsi que

l'élimination du stationnement près des intersections (Association des transports du Canada, 2001). Évidemment, l'efficacité d'une mesure d'apaisement dépend aussi d'une évaluation préalable des besoins et des buts recherchés lors de la planification et de l'implantation (City Calgary, 2006; City of London, 2015; City of Toronto, 2002; City of Windsor, 2005; Ville de Saint-John, 2012).

L'efficacité des mesures d'apaisement de la circulation

De nombreuses études ont été réalisées au cours des dernières décennies afin d'évaluer l'efficacité de mesures d'apaisement de la circulation. Comme on le verra ci-dessous, ces études évaluent les effets de mesures d'apaisement de la circulation à la fois sur la réduction de la vitesse, sur la réduction du nombre de collisions et sur la réduction du nombre de collisions avec blessés.

Études n'identifiant pas les types de mesures d'apaisement

Une méta-analyse de 33 études réalisée par Elvik (2001a) demeure le plus important recueil sur l'efficacité des mesures d'apaisement de la circulation en milieu urbain. Selon les résultats de cette étude, les mesures d'apaisement de la circulation sont associées à une réduction moyenne de 15% du nombre d'accidents avec blessés sur l'ensemble de la zone (routes principales et locales confondues), d'une réduction de 8% sur les routes principales et d'une réduction de 24% sur les routes locales. Toutefois, il est impossible à partir du résultat de cette méta-analyse de connaître l'effet d'un type spécifique de mesure d'apaisement de la circulation, ou les bénéfices pour différentes catégories d'utilisateurs de la route. De plus, l'auteur

mentionne la possibilité d'une surestimation de l'efficacité des mesures, en raison d'un manque de contrôle, dans la majorité des études, pour la régression vers la moyenne et pour l'évolution temporelle du nombre de blessés. À titre de précision, la régression vers la moyenne est un phénomène statistique observé quand les unités analysées (ex. rues, intersections) se limitent à celles ayant le plus grand nombre d'accidents (Hoye, 2015; Persaud et Lyon, 2007); plus spécifiquement, ce phénomène réfère à une diminution du nombre de collisions et de blessés à ces sites « extrêmes », dans les années subséquentes, sans même aucune intervention. Les études évaluatives qui ne prennent pas les moyens pour contrôler ce phénomène peuvent surestimer l'efficacité des interventions évaluées, ou même attribuer un effet à des mesures inefficaces.

Bunn, Collier et al. (2003b) ont procédé à une revue systématique des études évaluant les effets de mesures d'apaisement de la circulation sur le nombre de blessés. Dans l'ensemble des études retenues, seize au totale, les auteurs rapportent une réduction de 11% du nombre total de blessés (blessures fatales et non fatales), une réduction moyenne de 37% du nombre total de décès et une réduction de de 5% du nombre total de collisions. Treize études ont évalué l'effet spécifique sur le nombre de piétons blessés, mais aucune réduction significative n'a pas été observée. Six ans plus tard, ces auteurs ont réalisé une nouvelle revue systématique (Frances Bunnet *coll.*, 2009), incluant cette fois 23 études de type avant-après. Selon cette seconde méta-analyse, les mesures d'apaisement seraient associées à une réduction de 21% du nombre de décès (tous les types d'usagers de la route confondus) et une réduction de 15% du nombre total d'accidents avec blessés et de 11% du nombre de collisions. Le résultat de

quatorze études porte sur le nombre de piétons blessés, mais aucune réduction significative n'a pas été observée. Dans l'ensemble des études, une combinaison de mesures d'apaisement de la circulation a été utilisée. Les auteurs reconnaissent le potentiel des mesures d'apaisement de la circulation sur la réduction du nombre de blessés, mais suggèrent que d'autres études doivent être réalisées afin de mieux comprendre l'hétérogénéité des résultats des différentes études et l'influence du contexte d'implantation.

Au Royaume-Uni, une étude portant sur la variation spatiale du nombre d'enfants blessés selon la position socio-économique des quartiers a estimé que la présence de mesures d'apaisement de la circulation est associée une réduction du taux de jeunes piétons blessés, ainsi qu'à une réduction des inégalités observées entre les quartiers riches et pauvres (Jones, Lyons et al. 2005). L'étude base sur deux périodes de 2 ans d'observations, 1992 à 1994 et 1998 à 2000 (Jones, Lyons et al. 2005) présente des limites qui compromettent sa validité interne : les auteurs ignorent les dates d'implantation des mesures d'apaisement de la circulation, ce qui rend difficile leur association avec l'évolution du nombre de blessés; l'intervalle de 4 ans entre les deux périodes étudiées peut introduire un problème de régression vers la moyenne qui n'a pas été pris en compte; aucune mesure d'exposition telle que les volumes de véhicules et de piétons n'a été incluse; enfin, il s'agit d'une étude agrégée à l'échelle de quartiers, ce qui ne permet pas de savoir si la réduction du nombre de blessés est survenue spécifiquement aux sites ayant bénéficié de mesures d'apaisement de la circulation.

Une autre étude récente a observé une réduction significative du nombre de collisions avec blessés associé à la présence de mesures d'apaisement de la circulation, pour l'ensemble des

utilisateurs de la route. Les analyses par catégories d'usagers n'ont pas permis de mesurer un effet spécifique sur le nombre de piétons blessés (Yannis *et coll.*, 2014a). L'étude a utilisé une approche agrégée à l'échelle de la ville (16 000 habitants), deux autres villes avec des caractéristiques similaires en termes de démographie, du réseau routier et du type d'utilisation du sol ont été utilisées comme contrôle. L'étude de (Grundy *et coll.*, 2009)

Études identifiant les types de mesures d'apaisement

Les mesures d'apaisement de la circulation semblent être efficaces dans la réduction du nombre de blessés non seulement sur les endroits où elles ont été installées, mais également sur les rues adjacentes. Leden, Wikstrom et al. (2006) ont analysé les changements de comportements de conducteurs, piétons et cyclistes suite à l'implantation d'îlots de refuges centraux et de piste cyclable sur une grande artère et à une modification du code de la route. Les données sur les volumes de trafic, de piétons et de cyclistes étaient disponibles. Les analyses sont basées sur des questionnaires et des enregistrements vidéo réalisés avant et après les modifications apportées sur l'environnement. Plusieurs résultats significatifs sont issus de cette étude : i) réduction de la vitesse, ii) déplacement du trafic lourd aux rues adjacentes, iii) légère augmentation du nombre de blessés pendant une certaine période après les changements, iv) réduction globale du nombre de blessés, v) augmentation du volume de piétons et de cyclistes et vi) l'augmentation de la sécurité aux rues adjacentes aux rues apaisées. Les auteurs suggèrent qu'une prise de conscience au sujet de la sécurité routière peut expliquer au moins en partie les changements de comportement sur les rues qui n'ont pas été apaisées.

Un examen de 5 revues systématiques portant sur les zones «20 mph» (32 km/h), suggère que globalement ce type d'intervention contribue à la réduction de la vitesse, du volume de circulation et du nombre de blessés (Cairns *et coll.*, 2014).

Une étude cas-témoin a vérifié l'efficacité des déviations verticales du type ralentisseur sur le risque de blessure chez les enfants. Les résultats ont démontré un rapport de cotes (OR : *odds ratio*) de 0,40 en faveur des enfants qui résident dans une rue avec la présence de dos-d'âne, comparé aux enfants vivant dans une rue sans aucune intervention (Tester *et coll.*, 2004). Les dates d'implantation des mesures étaient disponibles.

L'efficacité des dos-d'âne pour réduire la vitesse des véhicules a été décrite par de nombreuses études (Association des transports du Canada, 2001). Une étude italienne ayant mesuré la vitesse des véhicules, et qui a contrôlé pour le volume de véhicule, la largeur de la chaussée et le nombre de voies, confirme l'importance du type de dos d'âne et du contexte. Dans cette étude, les dos-d'âne n'ont pas été associés à des différences de vitesse statistiquement significatives, sauf de manière anecdotique immédiatement avant ou après le dos-d'âne (Massimiliano Pau et Silvano Angius, 2001). Cependant, la vitesse n'a pas été mesurée avant l'installation des dos-d'âne. Les vitesses ont plutôt été comparées à celles observées sur des tronçons aux caractéristiques similaires. Dans une autre étude comparant l'efficacité de caméra de surveillance à celles de dos-d'âne, ce dernier s'est avéré deux fois plus efficace, avec une réduction de 40% du nombre de blessés. (L. J. Mountain *et coll.*, 2005a).

Les simulateurs de conduite sont de plus en plus utilisés pour évaluer les changements de comportement de conducteurs face aux caractéristiques de l'environnement bâti, ce qui permet le contrôle de nombreuses variables (Arien *et coll.*, 2013; F. Bella *et coll.*, 2014; Duivenvoorden *et coll.*, 2015; Jamson *et coll.*, 2010; Yang *et coll.*, 2013). L'effet des saillies de trottoir sur les comportements des conducteurs a été mesuré par cette méthode, et les résultats démontrent l'efficacité des saillies de trottoir sur la diminution de la vitesse (Francesco Bella et Silvestri, 2015). Ces résultats sont en accord avec ceux publiés par Huang et Cynecki (2001) qui observé une réduction statistiquement significative de la vitesse. Les données sur la vitesse avant l'installation de saillies de trottoir ne sont pas disponibles et l'étude a utilisé de sites aux caractéristiques semblables. L'efficacité de saillies de trottoir sur la priorité de passage de piétons a été rapportée dans l'étude effectuée par Randall (2005).

Depuis leur introduction en Amérique du Nord à partir des années 70 et 80 (Ewing 1999), les mesures d'apaisement de la circulation ont fait l'objet de nombreuses recherches empiriques afin d'évaluer leur efficacité, notamment au cours des années 80 et 90. Cependant, comme nous l'avons brièvement décrit, des défis méthodologiques limitent la portée des résultats de nombreuses recherches (F. Bunnet *coll.*, 2003a; Frances Bunnet *coll.*, 2009; Cairnset *coll.*, 2014; Elvik, 2001c; Joneset *coll.*, 2005b; M. PauetS. Angius, 2001; Randall, 2005; Yannis *et coll.*, 2014b).

Le développement de nouvelles technologies, telles que la géomatique, ainsi que l'usage d'enquêtes sur les habitudes de déplacement à l'échelle de la population et de méthodes statistiques appropriées (ex. analyse multi-niveau; Morency, 2012), permettent d'inclure des

données géolocalisées sur l'environnement bâti et de prendre en compte les caractéristiques de sites d'implantation.

Limites des études antérieures et pertinence de la recherche

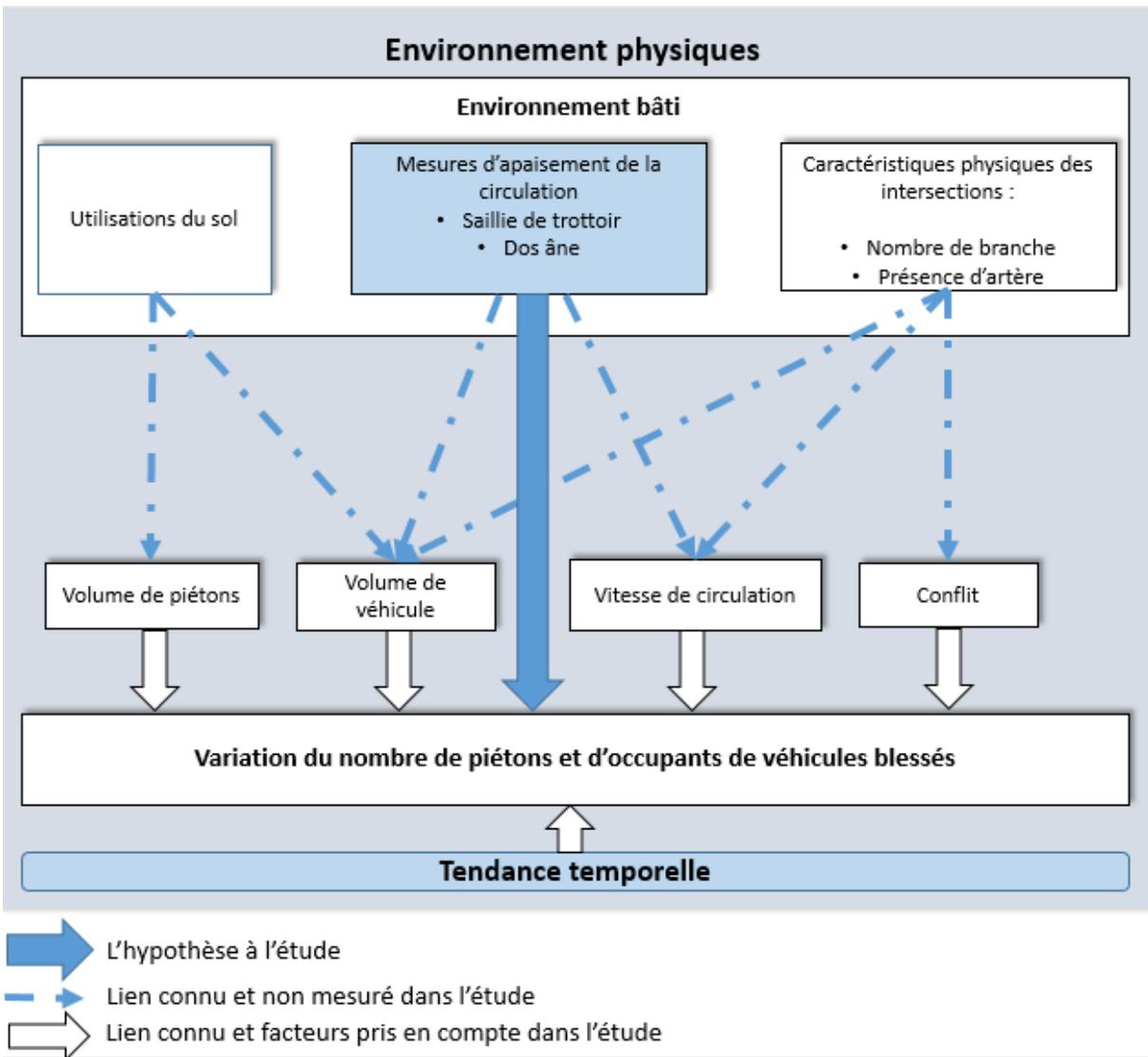
La littérature scientifique nous renseigne sur les effets potentiels des mesures d'apaisement de la circulation sur la réduction de la vitesse et sur la réduction du nombre de blessés. Cependant, i) très peu d'études ont utilisé une méthode désagrégée des données à l'échelle des intersections; ii) les résultats des études ne sont généralement pas présentés par type spécifique de mesure d'apaisement (ex. saillies); iii) l'effet observé sur les collisions et les blessures ne permet pas d'identifier spécifiquement quel type d'utilisateur de la route bénéficie de quelle mesure; iv) il y a un manque de contrôle pour les caractéristiques des sites d'implantation; v) très peu d'études ont été réalisées à grande échelle, se limitant parfois à quelques sites seulement. Enfin, l'effet des mesures d'apaisement de la circulation implantées à Montréal sur la sécurité routière n'a jamais été mesuré. Ce mémoire constitue la première étude qui s'intéresse à cette question. Dans une perspective de santé publique, où les ressources déployées en prévention sont limitées, la production de données probantes capables de justifier les investissements réalisés devient un enjeu fondamental. Ce mémoire vise à combler ces lacunes.

Cadre conceptuel

À la lumière des connaissances fournies par la révision de la littérature, nous identifions les principales caractéristiques du cadre bâti des villes susceptibles d'avoir une influence sur la variation du volume de véhicules, du volume de piétons et la vitesse de circulation, qui à leur tour ont une influence sur la variation du nombre de blessés en milieu urbain. Les études démontrent également que le nombre de blessés tend à diminuer au cours du temps. Le contrôle de cette tendance temporelle doit être considéré lors de la planification des études intéressées à l'évaluation de l'efficacité des mesures d'apaisement de la circulation sur la variation du nombre de blessés.

Le cadre conceptuel proposé dans ce mémoire est inspiré par ceux d'Ewing and Dumbaugh (2009) et Miranda-Moreno, Morency et al. (2011) où l'ensemble des caractéristiques nommées ci-dessus sont mises en relation. Notre cadre ajoute cependant la présence de mesures d'apaisement de la circulation comme variable d'exposition, ainsi que la prise en compte de la tendance temporelle dans la variation du nombre de blessés comme variable de contrôle.

Figure 1 – Cadre conceptuel des facteurs susceptibles d’influencer la variation du nombre de blessés en milieu urbain



Question de recherche, hypothèse et objectifs

Les mesures d'apaisement de la circulation gagnent en «popularité» à Montréal notamment depuis les huit dernières années. Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée dans le but d'évaluer les effets de ces mesures sur la sécurité routière à Montréal. Sur la base des informations présentées dans la section précédente, notre recherche vise à répondre à la question suivante : quelle est l'association entre l'implantation de saillies de trottoir et des dos-d'âne et l'évolution annuelle du nombre de piétons blessés et du nombre d'occupants de véhicule blessés aux intersections montréalaises?

Hypothèses

L'implantation des saillies de trottoir et de dos-d'âne est associée à une réduction du nombre de piétons blessés et du nombre d'occupants de véhicule blessés aux intersections à Montréal.

Objectifs

Estimer l'association entre la présence de saillies de trottoir et de dos-d'âne sur la variation annuelle du nombre de piétons et d'occupants de véhicules blessés aux intersections montréalaises au cours de la période 2000 à 2014

CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE

Territoire de l'étude

Le territoire de l'étude est situé sur l'île de Montréal, située la province du Québec (Canada). L'île de Montréal est constituée de 19 arrondissements rattachés à la ville de Montréal et de 15 villes reconstituées en 2006 et couvre un territoire de 482,8 km². Sa population est estimée à 1 988 243 habitants en date du 1er juillet 2014 (Institut de la statistique du Québec., 2015).

Échantillonnage

Plus spécifiquement, le territoire de l'étude est constitué de 4 arrondissements ayant récemment implanté des mesures d'apaisement de la circulation : Ahuntsic-Cartierville; Mercier-Hochelaga-Maisonneuve; Rosemont – La Petite-Patrie et Le Plateau Mont-Royal. Les arrondissements à l'étude comptent une population de 501 706 personnes et couvrent un territoire de 73 400 km², ce qui correspond à 25% de la population et 15,20% du territoire de l'Île de Montréal (Ville de Montréal, 2016). L'unité d'analyse est l'ensemble des intersections (n= 3371) du réseau routier des 4 arrondissements.

Sources des données

1 - Réseau routier

Les intersections sur lesquelles l'ensemble des variables à l'étude a été opérationnalisé (voir Tableau II), ont été obtenues à partir du réseau routier *OpenStreetMap* produites par «*OpenStreetMap contributors*©». Ce réseau de voiries routières comporte plusieurs avantages, dont le statut de « données ouvertes », la présence de vecteurs uniques (non dédoublés) pour représenter les routes et l'inclusion des voies piétonnes, par exemple les sentiers dans les parcs, les ruelles, etc.

2 - Mesures d'apaisement de la circulation

Les données sur les mesures d'apaisement de la circulation implantées depuis 2004 ont été collectées auprès des fonctionnaires des arrondissements au printemps 2015 en collaboration avec la Direction de la santé publique de Montréal. Les informations suivantes étaient disponibles : le lieu d'implantation de la mesure, le type, la quantité, ainsi que l'année d'implantation. Les informations nous ont été transmises sur des cartes papier, à l'exception de l'arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve qui disposait d'une carte en format numérique. L'ensemble des informations ont été géoréférencées d'abord sur le réseau routier à l'aide d'un système d'information géographique (ArcGis version 12.2)

Tableau I – Distribution du nombre total de mesures d’apaisement de la circulation (2004-2014) en fonction du type de mesure et du lieu de l’implantation (intersection ou tronçon).

Types de mesures	Intersection	Tronçon	Total
Dos-d’âne	0	618	618
Saillie de trottoir	648	36	684
Rétrécissement : bollard	4	81	85
Rétrécissement : balise centrale	1	55	56
Rétrécissement : marquage	0	31	31
Élimination des stationnements au coin de rue : marquage	3	2	5
Élimination des stationnements au coin de rue : mesure physique	6	1	7
Contrôle de limite de vitesse	0	1	1
Total	662	825	1487

Les mesures d’apaisement de la circulation incluses dans la base de données comprennent différents types d’interventions : saillies de trottoir; rétrécissements par bollards, balises centrales ou marquage, dos-d’âne, élimination des stationnements aux coins des rues par marquage ou mesures physiques. Le fichier compte au total 1487 mesures d’apaisement de la circulation sur le territoire échantillonné (tableau I, p.28). Certaines mesures ont été implantées aux intersections et aux tronçons.

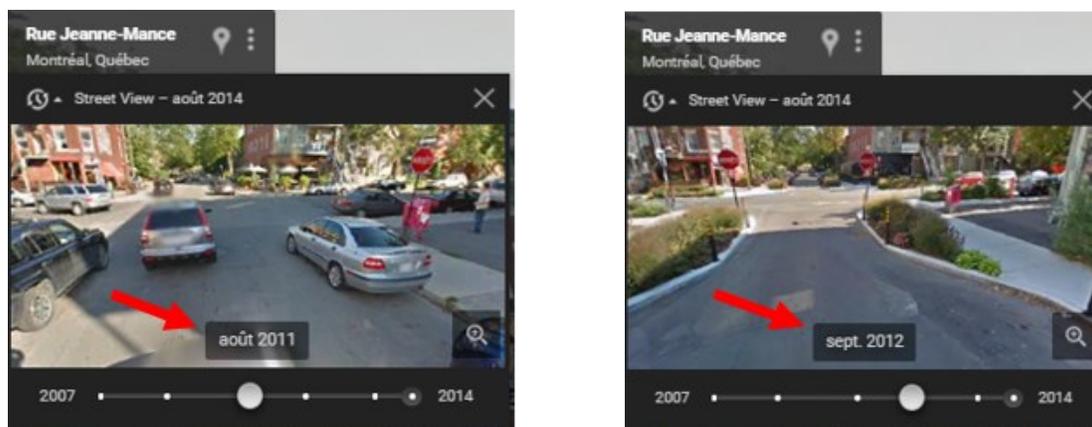
Seules les mesures physiques permanentes, implantées de 2004 et 2014 et dont l’année d’implantation été disponible ont été considérées lors du processus de validation (décrit ci-dessus). La signalisation (ex. réduction de limite de vitesse affichée), les mesures temporaires (ex. dos-d’âne estival) ou celles limitées au marquage au sol ont été considérées comme non

permanentes. Ces groupes de variables correspondent à 20,5% (n= 305) de l'échantillon et ont été exclues. (Figure 2, p.30).

Une méthode de validation de mesures d'apaisement de la circulation a été mise au point en utilisant l'outil informatique de *Google®*, *Google Street View*, qui permet d'obtenir des photos du réseau routier montréalais depuis 2007. La procédure de validation a consisté à localiser l'emplacement de la mesure d'apaisement de la circulation sur *google maps*. Ensuite, à l'aide de l'outil *Google Street View*, toutes les images disponibles de 2007 à 2015 ont été visualisées afin d'identifier la dernière année sans la présence de mesure d'apaisement de la circulation et la première année avec la mesure d'apaisement de la circulation. L'exemple suivant donne un aperçu de la procédure.

Ex. l'arrondissement Plateau Mont-Royal nous a déclaré avoir installé des saillies de trottoir en 2011 à l'intersection de la rue Jeanne-Mance et de la rue Villeneuve Ouest. La dernière photo à cet emplacement sans aucune mesure d'apaisement de la circulation date d'août 2011 et la première photo avec mesure date de septembre 2012. Ce qui veut dire qu'entre août 2011 et septembre 2012 les saillies ont été installées. Dans ce cas, nous confirmons l'information fournie par l'arrondissement.

Figure 2 – Illustration de la méthode de validation de mesure d’apaisement de la circulation avec Google Street View (photo avant-après)



Source : Google Street View, 2016.

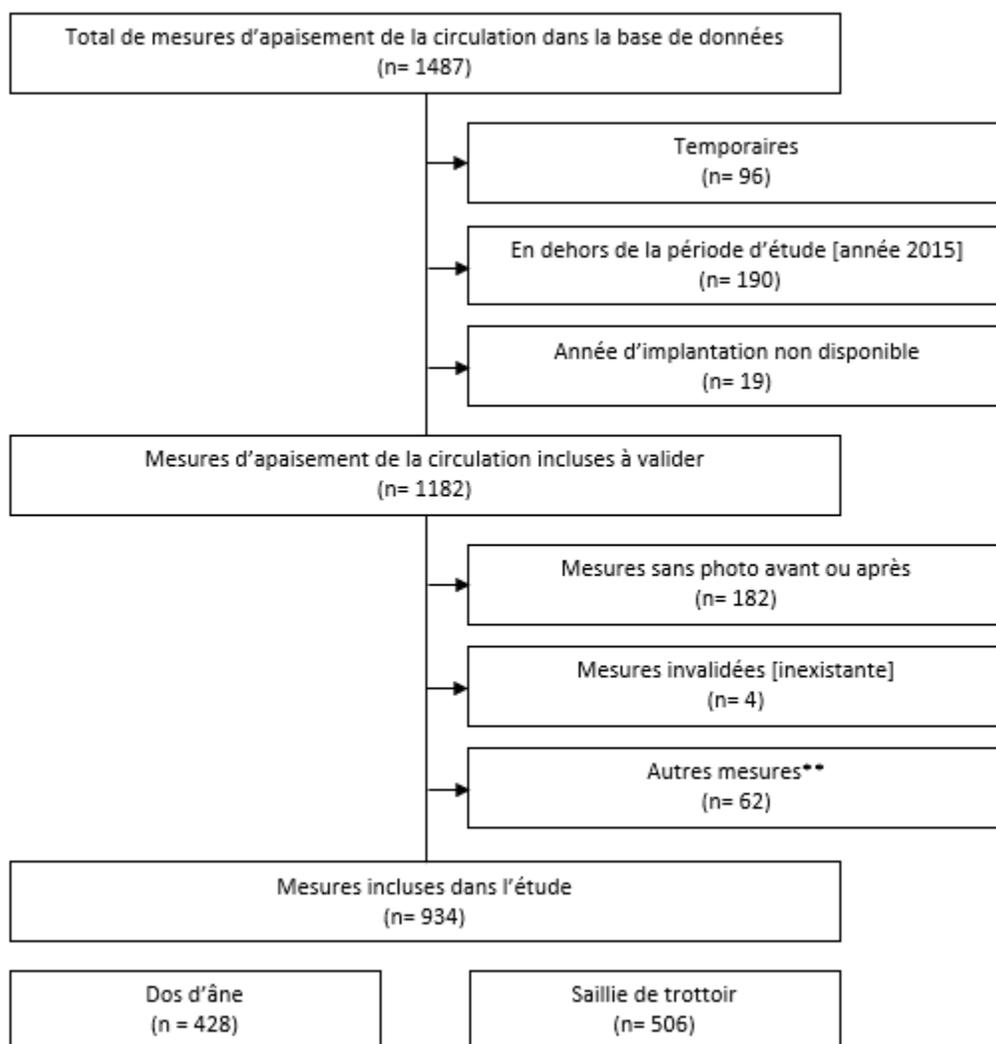
Au total, 1182 mesures d’apaisement de la circulation ont été validées selon la méthode décrite ci-dessus.

- ❖ Mesures avec année et lieu d’implantation confirmés par une photo avant et après 84,7% (n= 1000).
- ❖ Mesures qui n’ont pas pu être confirmées par une photo avant ou une photo après la date d’implantation 15,4% (n= 182). La majorité de ces mesures ont été implantées au cours de l’année 2014.
- ❖ Mesures invalidées, car aucune mesure d’apaisement ne se trouve à l’emplacement informé par l’arrondissement 0,08% (n=4).

Cette étude inclut 934 mesures d’apaisement du type saillie de trottoir ou dos-d’âne implantées de 2004 à 2014 inclusivement et pour lesquelles les lieux et l’année d’implantation

ont été confirmés par photos avant et après. Voir exemple (Figure 2, p.30). Les 506 saillies de trottoirs à l'intersection ont été implantées à 177 intersections différentes et les 428 dos-d'âne implantés aux tronçons ont été associés à 361 intersections adjacentes.

Figure 3 – Schéma de sélection des mesures d'apaisement de la circulation incluses dans l'étude



Note : **Rétrécissements bollards, rétrécissement balises centrales, rétrécissements marquage, élimination des stationnements coin de rue et contrôle de limite de vitesse.

3 - Enquête Origine-Destination 2008

Les données de l'enquête Origine-Destination 2008 ont été utilisées pour estimer le volume de véhicules et le volume de piétons. L'enquête est une réalisation conjointe de l'Agence métropolitaine de transport (AMT) et de ses partenaires¹. Il s'agit d'une enquête téléphonique transversale, répétée à chaque cinq ans et réalisée à l'automne, généralement de septembre à décembre, auprès d'un échantillon aléatoire d'environ 5% des ménages, en incluant la région de Montréal. Au total, 66 100 ménages ont été sélectionnés en 2008. Cette enquête est représentative des déplacements quotidiens pour un jour de semaine pour l'ensemble de la population de 5 ans et plus de la région métropolitaine de Montréal. Elle nous informe sur les modes de transport utilisés et, pour chaque déplacement, sur le lieu d'origine et de destination² (coordonnées géographiques). Les données de l'enquête O-D 2008 utilisées dans la présente recherche ont été produites par Martin (2016) dans le cadre de sa maîtrise en génie civil supervisée par Catherine Morency de l'école polytechnique de Montréal. Le fichier contenait l'affectation des déplacements sur le réseau routier *Google Street View* et l'agrégation du nombre de véhicules et de piétons (estimation du volume) aux intersections.

¹ La méthodologie de cette enquête est décrite en détail dans le document téléchargeable à l'adresse suivante : <https://www.amt.qc.ca/Media/Default/pdf/section8/mobilite-des-personnes-dans-la-region-de-montreal.pdf>

² Mobilité des personnes dans la région de Montréal Enquête Origine-Destination 2008, version 08.2a

4 - Données de blessés 2000-2014

Le nombre annuel de piétons et d'occupants de véhicules blessés aux intersections a été fourni par la Direction régionale de la Santé publique de Montréal (DRSP). La DRSP a produit les données sur les piétons et occupants de véhicules blessés sur l'île de Montréal entre la période 1 janvier 2000 au 31 décembre 2014, à partir de la base de données fournies par la Société d'assurance automobile du Québec (SAAQ), basée sur les rapports d'accidents policiers. La DRSP a ajouté les coordonnées géographiques «X» et «Y» des lieux des collisions via un algorithme de géolocalisation basé sur les adresses, les noms de rues inscrits par les policiers, la municipalité, le poste de police de quartier, etc.

5 - Hiérarchie routière

Pour cette étude, la définition d'artère provient du fichier du réseau artériel métropolitain identifié par le règlement numéro 2013-59 de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM), adopté en juin 2013. Le réseau artériel exclut les autoroutes, les collectrices et les rues locales.

Mesures

Variables dépendantes

Les variables dépendantes de l'étude sont : **(1) nombre de piétons blessés** et **(2) nombre d'occupants de véhicules blessés**. Le nombre de piétons blessés correspond à l'ensemble de piétons blessés des trois catégories de l'état de la victime (léger, grave et décès) regroupé en une seule variable. Le nombre d'occupants de véhicules blessés correspond à l'ensemble de conducteurs et de passagers des véhicules blessés des trois catégories de l'état de la victime (blessés légers, blessés graves et décédés) regroupé en une seule variable. Il s'agit de deux variables discrètes « count data », non négatives (0, 1, 2, 3, 4...). Les variables nombre de piétons blessés et nombre d'occupants de véhicules blessés ont été associées aux intersections du réseau routier *Open Street Map* à l'aide d'un système d'information géographique (ArcGis, version 12.2).

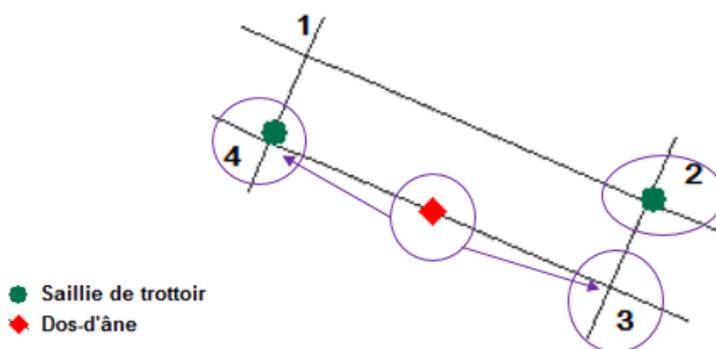
Variables indépendantes

L'étude est composée de 7 variables indépendantes, en incluant les deux variables d'expositions : **saillie de trottoirs (v1)** et **dos-d'âne (v2)**, ainsi que les 4 variables de contrôles : **intersections à 4 branches ou plus (v3)**, **présence d'artère aux intersections (v4)**, **volume de véhicule (v5)**, **volume de piétons (v6)** et **tendance temporelle (v7)**. Toutes les variables ont été opérationnalisées à l'aide du système d'information géographique ArcGis version 12.2 et associé à la couche spatiale du réseau routier *Open Street Map*.

Les **saillies de trottoir** et les **dos-d'âne** sont des variables dichotomiques «0» et «1», où ces valeurs représentent l'absence ou la présence de la mesure d'apaisement de la circulation respectivement. Les saillies de trottoir sont des mesures implantées aux intersections et associées à une seule intersection. Les dos-d'âne sont des mesures implantées aux tronçons, mais associées aux intersections contiguës. C'est-à-dire, qu'un tronçon est associé à au moins une intersection et au maximum à deux intersections.

La figure ci-dessous illustre la présence des saillies de trottoirs aux intersections, ainsi que l'attribution d'un dos-d'âne aux intersections contiguës. Dans cet exemple, l'intersection 1 n'a ni une saillie de trottoir ni un dos-d'âne, «0»; l'intersection 2 a une saillie de trottoir, «1»; l'intersection 3 se voit attribuer un dos-d'âne, «1»; et l'intersection 4 a une saillie de trottoirs et un dos-d'âne a été attribuée «1».

Figure 4 – Schéma d'attribution de saillies de trottoirs et de dos-d'âne aux intersections

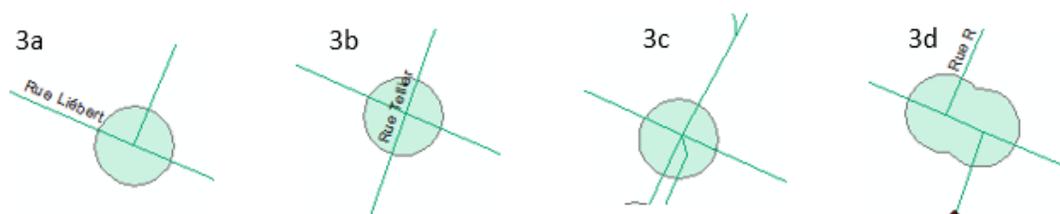


La variable **nombre de branches** a été opérationnalisée comme variable dichotomique «0» et «1», la valeur «0» représente les intersections à 3 branches, du type «Y » ou «T» et la valeur «1» représente les intersections à 4 branches ou plus, du type «X». L'identification du nombre

de branches a été réalisée à partir des manipulations suivantes : Une zone tampon de 20 mètres a été créée sur toutes les jonctions de trois vecteurs ou plus³ et la somme de ses vecteurs détermine le nombre de branches qui composent l'intersection.

La figure 5 (p. 36) illustre les intersections considérées dans cette étude, selon le nombre de branches qui les composent. Les intersections à 3 branches (3a) et les intersections à 4 branches ou plus (3b, 3c) y compris les intersections «complexes» (3d), c'est-à-dire, des intersections à moins de 20 mètres une de l'autre, mais considérées comme étant une seule intersection à 4 branches ou plus.

Figure 5 – Types d'intersections selon le nombre de branches



La variable **présence d'artère a** a été opérationnalisée comme variable dichotomique «0» et «1», la valeur «0» représente les intersections situées hors artères et la valeur «1» représente

³ L'adjectif «vecteur» est utilisé dans le vocabulaire de la géomatique pour représenter un «segment de droite orienté et représenté par les coordonnées de ses deux extrémités». Dans le langage concrète de la sécurité routière, c'est le même que dire «tronçons», «branches», «segments», etc.

<https://www.mern.gouv.qc.ca/territoire/geomatique/geomatique-vocabulaire.jsp>

les intersections situées aux artères. Les trois classes de voie de circulation hiérarchiques du réseau artériel métropolitain ont été regroupées en une seule classe pour créer la variable présence d'artère.

Les variables **volume de véhicules** et **volume de piétons** ont été opérationnalisées à partir des coordonnées géographiques «X» et «Y» de l'origine et de la destination des déplacements. Les trajets ont été attribués sur le réseau routier *Open Street Map* et la somme de déplacements à pied et en véhicule effectués à une intersection a permis d'estimer le volume de véhicules et le volume de piétons. Ces deux variables sont traitées comme variables continues lors des régressions multivariées et comme variable catégorielles (quintiles) lors de la description des données. Le volume de véhicules a été divisé par 10 000 véhicules/intersections/jour et le volume de piétons par 100 piétons/intersections/jour afin de faciliter l'interprétation des analyses multivariées.

La variable **tendance temporelle** correspond à un intervalle d'un an entre les mesures, qui ont été répétées 14 fois, soit, du 1^{er} janvier 2000 jusqu'au 31 décembre 2014. Pour des raisons d'interprétation statistique, l'échelle a été convertie de 0 à 14, où 0 = 2000, 1 = 2001, 2 = 2002 ... 14 = 2014.

Tableau II – Présentation de variables à l'étude

	Nom de la variable	Type de variable
Caractéristiques variant au cours du temps	Saillie de trottoir (VE)	0 et 1
	Dos-d'âne (VE)	0 et 1
	Nombre de piétons blessés (VD 1)	Continue (Discrète)
	Nombre d'occupants de véhicules blessés (VD 2)	Continue (Discrète)
	Mesures répétées	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9, 10, 11, 12, 13, 14
Caractéristiques considérées stables au cours du temps	Volume de véhicules - 2008	Continue
	Volume de véhicules -2008 (quintile)	Q1 – Très faible Q2 – Faible Q3 – Modéré Q4 – Forte Q5 – Très fort
	Volume de piétons - 2008	Continue
	Volume de piétons - 2008 (quintile)	Q1 – Très faible Q2 – Faible Q3 – Modéré Q4 – Forte Q5 – Très fort
	4 branches ou plus	0 et 1
	Présence d'artère	0 et 1

Note : Nombre de véhicules selon le quintile de volume de véhicule : Q1 (0 à 302); Q2 (304 à 824); Q3 (828 à 2908); Q4 (2911 à 8222); Q5 (8234 à 211384); nombre de piétons selon le quintile de volume de piétons : Q1 (0 à 60); Q2 (61 à 203); Q3 (204 à 412); Q4 (413 à 786), Q5 (787 à 5311).

Analyses statistiques

Les analyses portent sur l'ensemble des 3 371 intersections des quatre arrondissements.

Les analyses descriptives présentent la répartition des intersections avec mesures d'apaisement de la circulation (saillie de trottoir à l'intersection; dos-d'âne sur tronçon adjacent) selon les caractéristiques des intersections. L'association statistique entre la présence de mesure d'apaisement et les variables catégorielles est vérifiée à l'aide du test de Chi-deux, avec un intervalle de confiance à 95%. Les analyses descriptives incluent aussi la distribution du nombre de piétons blessés et d'occupants de véhicules blessés en fonction des caractéristiques des intersections, ainsi que l'évolution annuelle du nombre d'intersections avec mesure d'apaisement et du nombre de blessés.

Pour réaliser les analyses de régression appropriées lorsque la variable dépendante prend des valeurs entières non négatives (0, 1, 2, 3, 4,...), et que les grandes valeurs représentent des événements rares, le choix d'une méthode capable de prendre en considération ces caractéristiques est fondamental (Rivest, 2012). Selon la littérature, un petit nombre d'intersections cumule un grand nombre de collisions tandis que la grande majorité des intersections cumule un petit nombre, voire même aucune collision pendant plusieurs années (Miranda-Moreno *et coll.*, 2011; Pulugurtha et Sambhara, 2011). Cela produit comme résultat une distribution fortement asymétrique faisant partie de la famille de distribution de Poisson (Hilbe, 2007).

Des régressions de Poisson multiniveaux bivariées et multivariées ont été réalisées avec le logiciel Stata version 13. Les analyses multiniveaux nous ont permis d'estimer l'association entre les saillies de trottoir et les dos-d'âne et la variation du nombre de piétons blessés et d'occupants de véhicules blessés. Les mesures répétées ont été placées au niveau I qui ont été nichés aux intersections au niveau II. Les associations sont rapportées via «*incidence rate ratio*» (IRR), c'est-à-dire, le rapport entre le taux d'incidence de blessés aux intersections ayant bénéficié d'une mesure d'apaisement de la circulation divisé par le taux d'incidence de blessés aux intersections n'ayant pas bénéficié d'une mesure d'apaisement de la circulation. Un intervalle de confiance à 95% a été utilisé.

Considérations éthiques

Le projet a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche en santé de l'Université de Montréal (CERES) (annexe A, p. xv). L'ensemble des fichiers manipulés ne contient aucun renseignement personnel permettant l'identification des personnes.

Les résultats de cette étude pourraient contribuer à améliorer les interventions sur le cadre bâti des villes et à réduire le nombre de blessés.

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS

Analyses descriptives

Implantation des mesures d'apaisement de la circulation

Cette section porte sur l'évolution temporelle du nombre d'intersections apaisées de 2004 et 2014, ainsi que sur la distribution des mesures d'apaisement de la circulation en fonction des caractéristiques des intersections (Tableau III, p.45). Les cartes en annexe illustrent la distribution géographique des intersections ayant bénéficié de mesures d'apaisement de la circulation (saillies de trottoir et/ou de dos-d'âne sur le tronçon adjacent) dans chacun des 4 arrondissements (Annexe C).

Dans l'ensemble des quatre arrondissements, la majorité (61,3%) des intersections ont quatre branches ou plus. Moins d'un tiers (29,5%) de l'ensemble des intersections sont situées sur une artère (Tableau IV, p.46).

Les saillies de trottoir ont été implantées à 5,2% (n= 177) des intersections et les dos-d'âne implantés sur les tronçons qui sont adjacents à 10,7% (n= 361) des intersections. Au total, 15,0% (n= 507) des intersections ont bénéficié d'au moins l'une et/ou l'autre des deux mesures en 2014. C'est à partir de 2011 que le nombre d'intersections apaisées augmente de manière importante, notamment avec l'implantation de dos-d'âne (Figure 6, p.47).

Les intersections ayant quatre branches ou plus ont davantage bénéficié de l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation que les intersections à 3 branches (7,3% vs 2,1%; $p < 0,001$). Les intersections situées hors artères ont davantage bénéficié de l'implantation de

mesures d'apaisement de la circulation que les intersections situées sur les artères (6,0% vs 3,4%; $p < 0,001$). Il est à noter que pour les intersections situées aux artères, les saillies de trottoir et les dos-d'âne ne sont habituellement pas implantés sur l'artère, mais plutôt sur les autres rues de l'intersection.

La proportion d'intersections ayant bénéficié de saillies de trottoir et /ou de dos-d'âne (sur le tronçon adjacent) augmente avec le volume de piétons à l'intersection (de 5,1% aux intersections du 1er quintile à 24,4% aux intersections du 5e quintile; $p < 0,001$). La répartition des mesures d'apaisement est associée au volume de véhicules : les intersections ayant un volume de véhicules très faible (1er quintile) ou très élevé (5e quintile) ont moins bénéficié de mesures d'apaisement.

Nombre de piétons et d'occupants de véhicules blessés

Les caractéristiques des intersections associées à l'implantation des mesures d'apaisement de la circulation sont aussi associées au nombre moyen de piétons et d'occupants de véhicules blessés aux intersections (Tableau IV, p. 46).

De 2000 à 2014, le nombre moyen de blessés aux intersections ayant quatre branches ou plus est supérieur qu'aux intersections à trois branches (2,5 vs 0,5; $p < 0,001$ piéton blessé; 9,5 vs 1,6; $p < 0,001$ occupant de véhicules blessés). Le nombre moyen de piétons et d'occupants de véhicule blessés est plus élevé aux intersections avec artères (3,6 vs 0,9; $p < 0,001$ piétons blessés; 16,1 vs 2,4; $p < 0,001$ occupants de véhicules blessés).

Le nombre moyen de piétons blessés par intersection augmente avec le volume de piétons, passant de 0,1 pour les intersections du 1er quintile à 4,3 pour les intersections du 5e quintile.

Le nombre moyen de piétons et d'occupants de véhicules blessés par intersection augmente avec le volume de véhicules. Le nombre moyen de piétons blessés passe de 0,15 pour les intersections du 1er quintile à 3,8 pour les intersections du 5e quintile et le nombre moyen d'occupant de véhicules blessés passe de 1, pour les intersections du 1er quintile à 16,2 pour les intersections du 5e quintile.

De 2000 à 2014, le nombre annuel de blessés aux intersections a diminué pour les deux catégories d'usagers étudiées. Le nombre moyen de blessés aux intersections passe de 0,13 en 2000 à 0,09 en 2014 pour les piétons et de 0,58 en 2000 à 0,28 en 2014 pour les occupants de véhicules (figure 7, p.47).

Tableau III – Répartition des mesures d'apaisement de la circulation selon les caractéristiques des intersections

			Ensemble des intersections	Intersections avec mesures d'apaisement								
				Saillie de trottoir à l'intersection*			Dos-d'âne sur le tronçon adjacent à l'intersection**			Saillie ou dos-d'âne		
			n	n	%	p	n	%	p	n	%	p
Nombre d'intersections			3371	177	5,3%		361	10,71		507	15,04	
Caractéristiques des intersections	4 branches et plus	Non	1304	27	2,1	0,001	86	6,6	0,001	110	8,44	0,001
		Oui	2067	150	7,3		275	13,3		397	19,21	
	Présence d'artère	Non	2376	143	6,0	0,001	314	13,2	0,001	428	18,01	0,001
		Oui	995	34	3,4		47	4,7		79	7,94	
	Volume de véhicules	Très faible (1 ^{er})	673	10	1,5		57	8,47		66	9,81	
		Faible (2 ^e)	674	31	4,6		81	12,02		104	15,43	
		Moyen (3 ^e)	676	45	6,7	0,001	98	14,5	0,001	130	19,23	0,001
		Élevé (4 ^e)	674	47	7,0		89	13,2		130	19,29	
		Très élevé (5 ^e)	674	44	6,5		36	5,34		77	11,42	
	Volume de piétons	Très faible (1 ^{er})	677	4	0,6		31	4,58		35	5,17	
		Faible (2 ^e)	671	8	1,2		60	8,94		65	9,69	
		Moyen (3 ^e)	675	27	4,0	0,001	62	9,19	0,001	83	12,3	0,001
		Élevé (4 ^e)	674	52	7,7		115	17,06		159	23,59	
		Très élevé (5 ^e)	674	86	12,8		93	13,8		165	24,48	

Note : IC du test Khi-deux à 95%; * au moins une saillie de trottoir à l'intersection; ** au moins un dos-d'âne au tronçon adjacent; *** au moins une saillie de trottoir à l'intersection et/ou un dos-d'âne au tronçon adjacents.

Tableau IV – Nombre moyen de piétons et d’occupants de véhicules blessés (2000–2014) selon les caractéristiques des intersections (n= 3371).

		Ensemble des intersections	Nombre de Piétons blessés		Nombre d'occupants de véhicules		
			n	Nombre moyen	n	Nombre moyen	
			3371	5721	21 780		
Caractéristiques des intersections	4 branches et plus	Non	1304	626	0,48	2093	1,61
		Oui*	2067	5095	2,46	19 687	9,52
	Présence d'artère	Non	2376	2 159	0,91	5735	2,41
		Oui*	995	3562	3,58	16 045	16,13
	Volume de véhicules	Très faible (1 ^{er})	673	104	0,15	644	0,96
		Faible (2 ^e)	674	481	0,71	1576	2,34
		Moyen (3 ^e)	676	1099	1,63	3688	5,46
		Élevé (4 ^e)	674	1491	2,21	4963	7,36
		Très élevé (5 ^e)	674	2546	3,78	10 909	16,19
	Volume de piétons	Très faible (1 ^{er})	677	91	0,13	-	-
		Faible (2 ^e)	671	367	0,55	-	-
		Moyen (3 ^e)	675	772	1,14	-	-
		Élevé (4 ^e)	674	1585	2,35	-	-
		Très élevé (5 ^e)	674	2906	4,31	-	-

Note : * Catégorie de référence; **valeur du p obtenu par les analyses bivariées

Figure 6 - Évolution temporelle du nombre d'intersections avec mesures d'apaisement de la circulation (2004-2014)

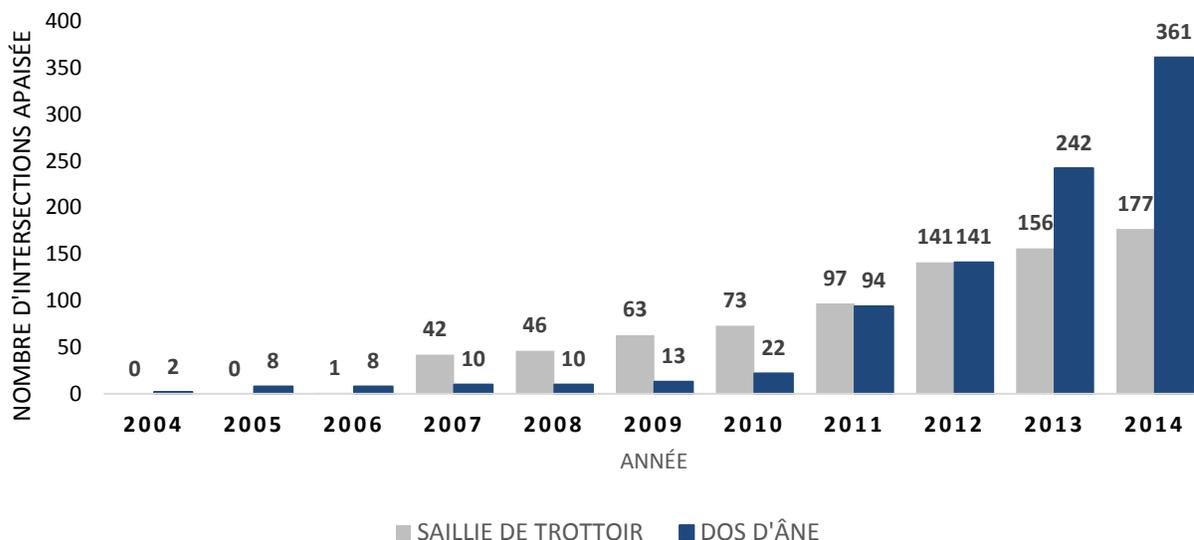
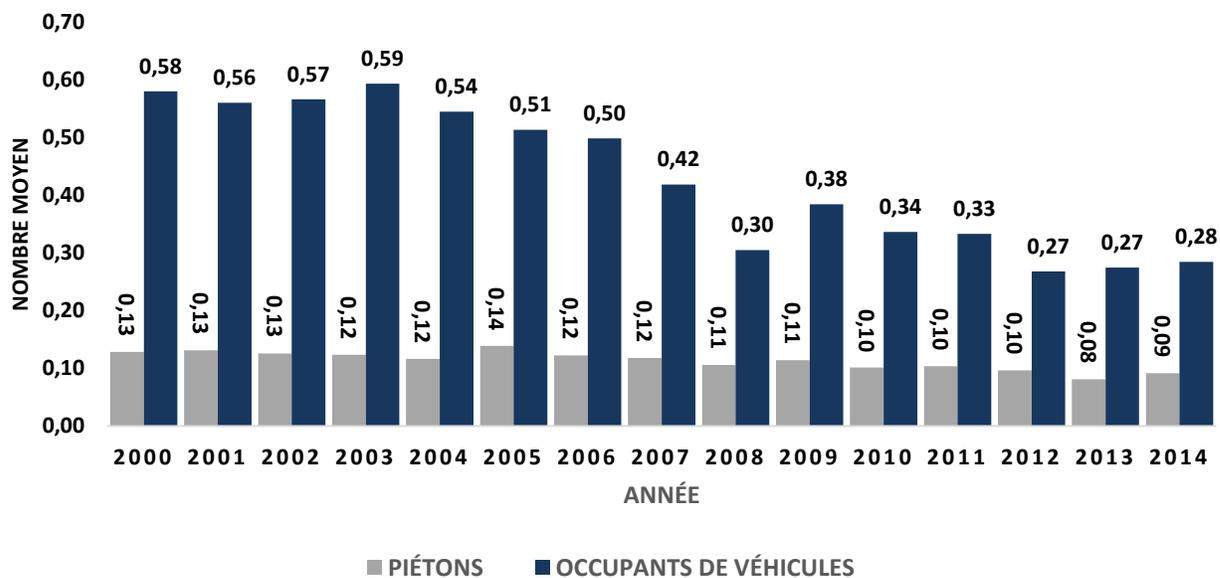


Figure 7 - Évolution temporelle du nombre moyen de blessés aux intersections selon catégories d'usagers de la route (2000-2014)



Analyses bivariées

Cette section présente les résultats des analyses de régression bivariées (tableau V, p.50) du nombre de blessés aux intersections en fonction de ces caractéristiques.

Dans les analyses bivariées, les saillies de trottoir sont associées de façon statistiquement significative à une réduction de 18,5% du nombre de piétons blessés (IRR= 0,815; IC= 0,674-0,987) et à une réduction de 57% du nombre d'occupants de véhicules blessés (IRR= 0,426; 95% IC= 0,367-0,496). La présence de dos-d'âne sur le(s) tronçon(s) adjacent(s) est associée à une réduction de 59% du nombre d'occupants de véhicules blessés aux intersections (IRR= 0,413; 95% IC= 0,340-0,501), mais ce type de mesure d'apaisement de la circulation n'a pas d'association statistiquement significative avec le nombre de piétons blessés (IRR= 0,852; 95% IC= 0,659-1,100). Le temps (l'année) est significativement associé à une réduction du nombre de blessés, tant pour les piétons [réduction de 2,9% par année (IRR= 0,971; 95% IC= 0,966-0,977)] que pour les occupants de véhicules [réduction de 6% par année (IRR= 0,939; 95% IC= 0,936-0,942)].

Les caractéristiques des intersections sont significativement associées à une variation du nombre de piétons et d'occupants de véhicules blessés. Le nombre de piétons blessés aux intersections à quatre branches ou plus est 5,13 fois plus élevé qu'aux intersections à 3 branches (IRR= 5,134; 95% IC= 4,492-5,868); pour les occupants de véhicules, le nombre de blessés aux intersections à quatre branches est 5,9 fois plus élevé (IRR= 5,933; 95% IC= 5,238-6,721). Le nombre de piétons blessés aux intersections situées sur une artère est 3,9 fois

plus élevé qu'aux intersections hors artère (IRR= 3,939; 95% IC= 3,480-4,459); pour les occupants de véhicules, le nombre de blessés est 6,6 fois plus élevé à une intersection située sur une artère qu'en dehors de ceux-ci (IRR= 6,68; 95% IC= 5,929-7,527).

Le nombre de piétons blessés augmente en fonction de l'augmentation du volume de véhicules et de piétons à l'intersection. Pour chaque augmentation de 10 000 véhicules aux intersections, le nombre de piétons blessés est multiplié par 2,1 (IRR= 2,113; 95% IC= 1,911-2,337) et pour chaque augmentation de 100 piétons aux intersections, le nombre de piétons blessés augmente de 15% (IRR= 1,156; 95% IC= 1,142-1,171). Le nombre d'occupants de véhicules blessés augmente en fonction du volume de véhicules, pour chaque 10 000 véhicules de plus à l'intersection, le nombre de blessés est multiplié par 2,5 (IRR= 2,522; 95% IC=2,271- 2,801).

Tableau V – Régression multivariée entre les mesures d’apaisement de la circulation et la variation du nombre de piétons blessés aux intersections

		Bivariées		Multivariées			
Piétons blessés (Décès/Grave/Léger)				Modèle A1		Modèle B1	
	Variables	IRR [95 CI]		IRR [95 CI]		IRR [95 CI]	
Mesure d'apaisement de la circulation	Saillie de trottoir	0,815 **	0,674 - 0,987	0,766 **	0,633 - 0,928	0,923	0,760 - 1,123
	Dos-d'âne	0,852	0,659 - 1,100	0,941	0,731 - 1,212	1,137	0,880 - 1,469
Caractéristiques des intersections	Volume de véhicules (/par 10.000 véhicule)	2,113 ***	1,911 - 2,337	1,296 ***	1,209 - 1,390	1,297 ***	1,209 - 1,391
	Volume de piétons (/par 100 piétons)	1,156 ***	1,142 - 1,171	1,101 ***	1,091 - 1,112	1,100 ***	1,090 - 1,111
	4 branches ou plus	5,134 ***	4,492 - 5,868	3,063 ***	2,699 - 3,475	3,056 ***	2,694 - 3,467
	Présence d'artère	3,939 ***	3,480 - 4,459	2,290 ***	2,044 - 2,565	2,307 ***	2,060 - 2,583
Tendance temporelle	Temps	0,971 ***	0,966 - 0,977			0,971 ***	0,965 - 0,978
Occupants de véhicules (Décès/Grave/Léger)				Modèle A2		Modèle B2	
	Variables	IRR [95 CI]		IRR [95 CI]		IRR [95 CI]	
Mesure d'apaisement de la circulation	Saillie de trottoir	0,426 ***	0,367 - 0,496	0,456 ***	0,392 - 0,530	0,696 ***	0,598 - 0,811
	Dos-d'âne	0,413 ***	0,340 - 0,501	0,461 ***	0,380 - 0,560	0,713 ***	0,587 - 0,867
Caractéristiques des intersections	Flux véhicule par (10.000 véhicule)	2,522 ***	2,271 - 2,801	1,423 ***	1,325 - 1,528	1,423 ***	1,326 - 1,528
	4 branches ou plus	5,933 ***	5,238 - 6,721	5,209 ***	4,668 - 5,811	5,155 ***	4,622 - 5,751
	Présence d'artère	6,680 ***	5,929 - 7,527	5,289 ***	4,742 - 5,898	5,352 ***	4,801 - 5,966
Tendance temporelle	Temps	0,939 ***	0,936 - 0,942			0,941 ***	0,938 - 0,944

Note. * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

Analyses multivariées

Pour les régressions multivariées, deux types de modèles de régressions ont été développés : les modèles A (A1 pour les piétons blessés; A2 pour occupants de véhicules blessés) incluent les caractéristiques des intersections. Les modèles B (B1 pour les piétons blessés; B2 pour occupants de véhicules blessés) incluent les caractéristiques des intersections ainsi que le temps (année) comme variable prédictive afin de contrôler pour l'évolution temporelle du nombre de blessés. L'ensemble des résultats sont présentés ci-dessous.

Saillies de trottoir

Dans les modèles de régression A (Tableau V), qui incluent les caractéristiques des intersections, les saillies de trottoir sont associées à une réduction de 23,4% du nombre de piétons blessés (modèle A1 : IRR= 0,766; 95% IC= 0,633-0,928) et à une réduction de 54,4% du nombre d'occupants de véhicules blessés (modèle A2 : IRR= 0,456; 95% IC= 0,392-0,530).

Dans les modèles B (Tableau V), qui prennent en compte les caractéristiques des intersections et l'évolution temporelle du nombre de blessés, l'association entre les saillies de trottoirs et la réduction du nombre de piétons blessés n'est plus statistiquement significative (modèle B1 : IRR= 0,923; 95% IC= 0,761-1,125). Toutefois, l'association entre l'implantation des saillies de trottoirs et la réduction du nombre d'occupants de véhicules blessés persiste (modèle B2 : IRR= 0,696; 95% IC= 0,598-0,811).

Dos-d'âne

Dans les modèles de régression A (Tableau V), qui incluent les caractéristiques des intersections, les dos-d'âne sont associés à une réduction du nombre de piétons blessés (modèle A1 : IRR= 0,941; 95% IC= 0,731-1,212), mais cette association n'est pas statistiquement significative. Les dos-d'âne sont associés de manière statistiquement significative à une réduction de 53,9% du nombre d'occupants de véhicules blessés (modèle A2 : IRR= 0,461; 95% IC= 0,380-0,560).

Dans les modèles B (Tableau V), qui prennent en compte les caractéristiques des intersections et l'évolution annuelle du nombre de blessés, l'association entre le nombre de piétons blessés et les dos-d'âne n'est pas statistiquement significative (modèle B1 : IRR= 1,137; 95% IC= 0,880-1,469). Toutefois, la réduction du nombre d'occupants de véhicules blessés associé aux dos-d'âne reste statistiquement significative (modèle B2 : IRR= 0,713; 95% IC= 0,587-0,867).

Caractéristiques des intersections

Comparativement aux analyses bivariées, dans les modèles de régression multivariée les caractéristiques des intersections continuent à être associées de manière statistiquement significative à une variation du nombre de piétons blessés et d'occupants de véhicule blessés, mais l'ampleur de l'effet est atténuée par la prise en compte simultanée des autres caractéristiques (Tableau V). La tendance temporelle continue à être associée à une réduction annuelle du nombre de piétons blessés (modèle B1 : IRR= 0,971; 95% IC= 0,965-0,978) et à

une réduction annuelle du nombre d'occupants de véhicules blessés (modèle B2 : IRR= 0,941; 95% IC= 0,938-0,944). De plus, l'effet estimé des caractéristiques des intersections sur la variation du nombre de blessés est relativement similaire dans les modèles A et B, tant pour les piétons blessés (A1 vs B1) que pour les occupants de véhicule blessés (A2 vs B2).

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

L'objectif principal de notre étude était d'estimer l'association entre la présence de saillies de trottoir et de dos-d'âne et la variation temporelle du nombre de piétons blessés et du nombre d'occupants de véhicules blessés aux intersections du réseau routier de quatre arrondissements montréalais de 2000 à 2014.

En plus de l'effet estimé sur le nombre de blessés, cette étude a permis de décrire la distribution des mesures d'apaisement de la circulation implantées sur le territoire de l'étude. De 2004 à 2014, au moins 15,0% des intersections sur l'ensemble du territoire des quatre arrondissements ont bénéficié d'une mesure d'apaisement. Pour plus de 90% des intersections ayant bénéficié d'au moins une de ces mesures, celles-ci ont été implantées récemment, de 2011 à 2014. La majorité des mesures d'apaisement a été implantée aux intersections où le volume de piétons est élevé ou très élevé. Cependant, la présence de mesures sur les artères est quasi-inexistante.

Les modèles de régression multivariés A1 et A2 (Tableau V) contrôlent pour les principales caractéristiques des intersections susceptibles d'influencer la variation du nombre de blessés en milieu urbain : nombre de branches, présence d'artère, volume de véhicules et volume de piétons. Les analyses des modèles A suggèrent une association statistiquement significative entre la présence de saillies de trottoirs et une réduction de 23% du nombre de piétons blessés (modèle A1) et une réduction de 54% du nombre d'occupants de véhicules blessés (modèle A2). La présence de dos-d'âne est associée à une réduction de 54% du nombre d'occupants de véhicules blessés (modèle A2). Selon les modèles de régression B1 et B2 (tableau V) qui contrôlent pour les caractéristiques des intersections et pour l'évolution annuelle du nombre de

blessés, tant les saillies de trottoirs que les dos-d'âne sont associés de manière statistiquement significative à une réduction du nombre d'occupants de véhicules blessés.

À notre connaissance, aucune étude n'avait établi une association directe entre la présence de saillies de trottoirs et la variation du nombre de blessés. Nos résultats sont cohérents avec les études qui ont démontré que les conducteurs de véhicules exposés aux saillies de trottoir réduisent leur vitesse (Huang et Cynecki, 2001) et donnent davantage la priorité de passage aux piétons (Francesco Bella et Silvestri, 2015; Randall, 2005). De plus, les saillies de trottoirs réduisent la largeur de la chaussée et, par conséquent, la longueur de la traversée piétonne et la durée d'exposition aux véhicules. La présence de saillie de trottoirs contribue également à augmenter la visibilité aux intersections (Association des transports du Canada, 2001).

Les dos-d'âne analysés dans cette étude sont localisés sur les tronçons et associés de manière statistiquement significative à la réduction du nombre d'occupants de véhicules blessés aux intersections contigües. Cela démontre que les dos-d'âne peuvent contribuer à la réduction du nombre d'automobilistes blessés et que leur effet ne se limite pas aux tronçons où ils ont été installés. L'effet préventif des dos-d'âne a déjà été observé pour les jeunes piétons [réduction de 60% du nombre de blessés; (Testeret *coll.*, 2004)] ainsi que pour le nombre total de blessés [réduction de 40%; (L. J. Mountain *et coll.*, 2005b)]. La vitesse est un facteur déterminant lors d'une collision avec blessés (Elviket *coll.*, 2013; Haleemet *coll.*, 2013; Liet *coll.*, 2013; Walz *et coll.*, 1983) et les dos-d'âne peuvent réduire la vitesse des véhicules (Association des transports du Canada, 2001).

Pour l'ensemble des quatre arrondissements étudiés, il y a un déclin annuel du nombre de piétons blessés et d'occupants de véhicules blessés. Cette réduction est nettement plus importante chez les occupants de véhicules. Les valeurs estimées de l'effet du temps sur la réduction du nombre de piétons blessés et du nombre d'occupants de véhicules blessés sont presque les mêmes dans les analyses bivariées et multivariées. Cela peut indiquer la stabilité des facteurs sous-jacents associés au temps et ayant une influence sur la réduction du nombre de blessés. En soi, le temps ne réduit pas le nombre de blessés de la route. La tendance temporelle doit plutôt être interprétée comme un indicateur indirect ou un facteur de confusion (Elvik, 1997; L. Mountain *et coll.*, 1997; L. Mountain *et coll.*, 1998). Il est possible, par exemple, que le nombre de blessés ait diminué en raison de la congestion routière croissante à Montréal, ralentissant ainsi la vitesse des véhicules. Cette hypothèse est soutenue par (Shefer et Rietveld, 1997), mais reste à valider puisque des études subséquentes n'ont pas été en mesure de la vérifier (Noland et Quddus, 2005; Wang *et coll.*, 2009). Il peut s'agir également de l'effet d'autres mesures d'apaisement de la circulation qui n'ont pas été mesurées dans notre étude, ou d'autres initiatives récentes visant à améliorer la sécurité routière. Enfin, ce déclin pourrait résulter d'une sous-déclaration progressive du nombre d'accidents et d'accidents avec blessés par les policiers, une hypothèse qui reste à vérifier.

L'inclusion de la tendance temporelle dans les modèles de régression (modèles B) atténue l'effet estimé des saillies de trottoir, qui passe de -54% à -30%, et des dos-d'âne, qui passe de -54% à -29%, sur le nombre d'occupants de véhicules blessés (modèle B2). L'effet estimé des

saillies de trottoir sur le nombre de piétons blessés devient statistiquement non significatif (modèle B1). Ces résultats confirment l'importance de considérer les tendances temporelles lors de la planification d'une étude dont l'objectif est d'estimer l'effet des mesures d'apaisement de la circulation sur le nombre de blessés (Elvik, 1997). Toutefois, les résultats des modèles B, incluant le temps, doivent être interprétés avec prudence. Le devis d'étude utilisé (mesures répétées) prend en considération lors de la modélisation statistique la variation annuelle du nombre de blessés, mais également la variation du nombre de saillies de trottoirs et des dos-d'âne implantés au fil du temps. Or, le temps est associé tant avec le nombre de blessés (variable dépendante) qu'avec les mesures d'apaisement de la circulation (variables d'exposition) (Figures 6 et 7, p.42). Le modèle de régression idéal inclurait un nombre suffisant de facteurs susceptibles de contribuer à la réduction annuelle du nombre de blessés (ex. congestion routières, autres mesures d'apaisement), non mesurés dans notre étude mais captés par la variable temps.

Bien que les caractéristiques des intersections (volume de véhicules, volume de piétons, 4 branches ou plus et présence d'artères) soient associées de manière statistiquement significative à une augmentation du nombre de blessés, le contrôle pour ces caractéristiques modifie très peu l'effet estimé des saillies de trottoir et des dos-d'âne sur le nombre de piétons et d'occupants de véhicule blessés.

Implications de l'étude

Ce mémoire s'inscrit dans une perspective de recherche évaluative, dont les résultats pourront avoir des implications tant pour les milieux de la pratique que de la recherche. Pour la pratique, cela signifie la production de données probantes au sujet des interventions sur l'environnement bâti susceptibles de contribuer à l'amélioration de la sécurité routière en milieu urbain. Cela représente un atout important, car les résultats obtenus sur le territoire de l'île de Montréal peuvent servir comme de nouveaux arguments en faveur d'une intensification de l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation. Pour la recherche, notre étude contribue à l'avancement des connaissances au sujet de l'efficacité d'interventions spécifiques (saillies et dos d'âne), pour deux types d'usagers de la route. De plus, nos résultats permettent d'observer les effets de la tendance temporelle sur la variation du nombre de blessés et de considérer ces effets pour l'estimation de l'effet des mesures d'apaisement.

Il est clair qu'il existe des écarts importants dans la mise en œuvre des mesures d'apaisement de la circulation sur le territoire étudié. En effet, les mesures d'apaisement de la circulation sont quasi inexistantes sur le réseau artériel, où survient pourtant la grande majorité des collisions et des blessés. Or, il sera important de réduire cette iniquité des sites apaisés sur le territoire, afin qu'une véritable réduction du nombre global de blessés puisse être envisagée.

Limites

Plusieurs limites importantes de notre étude pourraient avoir engendré une sous-estimation de l'effet des saillies et des dos-d'âne sur la réduction du nombre de blessés. D'abord, l'inventaire des mesures d'apaisement de la circulation implantées dans les 4 arrondissements depuis 2000 n'est pas exhaustif. Ainsi, des intersections « contrôles » ont certainement bénéficié d'interventions non mesurées dans notre étude. Deuxièmement, les saillies de trottoir et les dos-d'âne ont été opérationnalisés de façon dichotomique, ce qui ne permet pas de produire une estimation de l'effet de ces interventions en fonction du nombre de mesures implantées à une intersection ou sur un tronçon. Troisièmement, les données sur les variables d'exposition (volumes de véhicules et de piétons) sont limitées à l'année 2008. La prise en compte de l'évolution des volumes de véhicules et de piétons au cours de la période de l'étude pourrait modifier les estimations obtenues. De plus, la méthode d'estimation implique quelques limites : les déplacements utilisés pour estimer le volume de véhicules et le volume de piétons correspondant à une journée typique de l'automne, ce qui ne permet pas de prendre en compte les variations durant l'année; les véhicules commerciaux, camions lourds, autobus, etc. ne sont pas pris en compte par l'enquête Origine-Destination 2008; l'affectation des déplacements sur le réseau routier est basée sur un choix de trajet le plus court, en tenant compte de certaines contraintes physiques, mais les vrais trajets sont aussi influencés par d'autres contraintes. En dépit de ces limites, la validité des volumes de véhicules et de piétons estimés est soutenue par la forte association observée entre ces volumes d'exposition estimés et le nombre de blessés aux intersections.

Quatrièmement, cette étude utilise les intersections comme unité d'analyse et n'inclut pas les blessés sur les tronçons. Bien qu'en moindre nombre, l'inclusion de ces blessés pourrait contribuer à améliorer les connaissances sur l'effet des mesures d'apaisement de la circulation sur la sécurité des tronçons routiers.

Enfin, les résultats ne peuvent pas être généralisés à l'ensemble du territoire de l'île de Montréal en raison de la méthode arbitraire de sélection des arrondissements. Toutefois, en raison des similitudes entre les caractéristiques des intersections étudiées et celles des autres arrondissements montréalais, nous sommes portés à croire que les résultats pourraient être similaires dans les autres secteurs, mais cela reste à vérifier.

Forces

L'utilisation d'une approche désagrégée des données apporte l'avantage de pouvoir associer les effets estimés de saillies de trottoir et de dos-d'âne à l'échelle des intersections. En raison de la nature évaluative de notre étude, cela devient un grand avantage, car l'interprétation des résultats à l'échelle des intersections n'introduit pas une erreur écologique (Cockings et Martin, 2005; Dabis *et coll.*, 2011; Robinson, 2009). En effet, notre révision de la littérature nous a permis d'identifier un grand nombre d'études qui utilisent une approche agrégeant les données à l'échelle de secteurs ou de villes entières (Hopgood *et coll.*, 2013; Jones *et coll.*, 2005b; Yannis *et coll.*, 2014a).

L'inclusion des caractéristiques des intersections a permis le contrôle de variables connues pour avoir une influence sur la variation du nombre de blessés (volume de véhicules, volume de piétons, nombre de branches aux intersections et présence d'artère). Enfin, l'inclusion de la totalité des intersections présentes sur le territoire de 4 arrondissements a évité l'introduction d'un biais de sélection ainsi que le phénomène de régression vers la moyenne. Cette approche incluant l'ensemble des intersections a aussi permis de démontrer une réduction du nombre de blessés qui est généralisée à l'ensemble des intersections des arrondissements étudiés.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans la présente étude nous permettent de conclure que les saillies de trottoir et les dos-d'âne ont contribué à la réduction du nombre de blessés sur le réseau routier des quatre arrondissements étudiés. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés dans la littérature sur les effets préventifs de mesures d'apaisement de la circulation. Spécifiquement, à Montréal, les saillies de trottoirs et les dos-d'âne sont associés à une réduction du nombre d'occupants de véhicules blessés et les saillies de trottoir sont associées à une réduction du nombre de piétons blessés. La prise en compte de la tendance temporelle du nombre de blessés comme variable de confusion – affecte l'estimation de l'association des saillies de trottoir et des dos-d'âne sur le nombre de blessés : les modèles qui n'incluent pas cette tendance temporelle peuvent surestimer l'effet des mesures d'apaisement, mais son inclusion dans les analyses peut entraîner une sous-estimation de leur effet.

Notre étude améliore les connaissances au sujet de la sécurité routière à Montréal. Les résultats obtenus comblent une lacune dans les connaissances au sujet de l'efficacité des mesures d'apaisement de la circulation implantées à Montréal sur le nombre de blessés. Toutefois, notre étude ne couvre pas toutes les possibilités d'analyse sur les mesures d'apaisement de la circulation à Montréal. Pour les recherches futures, il serait intéressant, par exemple, d'inclure d'autres types de mesures d'apaisement de la circulation ainsi que les voies cyclables, de réaliser des analyses sur les blessés hors intersections (sur les tronçons routiers), de prendre en compte la quantité de mesures d'apaisement implantées et d'inclure les cyclistes puisqu'il y a une augmentation importante de l'usage du vélo sur le réseau routier montréalais. L'obtention de données concernant l'évolution de l'exposition (volume de véhicules et de

piétons) au cours du temps, pourrait permettre l'obtention de meilleurs estimés de l'effet des mesures d'apaisement sur le nombre d'usagers de la route blessés, mais aussi d'explorer un effet possible sur les volumes de marche et de vélo.

Soulignons que des gains appréciables sur la réduction du nombre de blessés devront passer par une plus ample couverture des mesures d'apaisement de la circulation sur le territoire afin qu'une plus grande partie de la population en ressentent les bienfaits. Bien que les intersections avec un plus grand nombre de piétons aient particulièrement bénéficié de l'implantation de ces mesures, les intersections où les volumes de véhicules sont les plus élevés ne le sont pas.

Il est important de retenir que des données probantes s'ajoutent à ceux déjà publiés sur les avantages de cibler l'environnement bâti comme milieu privilégié d'intervention afin de réduire le nombre de blessés de la route en milieu urbain.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Abdel-Aty, M., & Haleem, K. (2011). Analyzing angle crashes at unsignalized intersections using machine learning techniques. *Accid Anal Prev*, 43(1), 461-470. doi: 10.1016/j.aap.2010.10.002
- Agence de la santé et des services sociaux de Montréal., Morency, P., Tessier, F., Thérien, F., Archambault, J., Montréal (Québec). Commission permanente sur le transport et les travaux publics, & Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Secteur environnement urbain et santé. (2013). *La sécurité des piétons à Montréal : améliorer les aménagements routiers : mémoire présenté à la Commission permanente sur le transport et les travaux publics de la Ville de Montréal*. Montréal: Agence de la santé et des services sociaux de Montréal, Direction de santé publique, Secteur environnement urbain et santé.
- Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Direction de santé publique. (2007). Pour une approche globale de la sécurité routière mémoire de l'Agence de la santé et des services sociaux de la Montréal préparé par la Direction de santé publique sur les projets de loi no 42 et no 55 et déposé à la Commission des transports et de l'environnement, Assemblée nationale du Québec. from <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/64275>
- Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Direction de santé publique, King, N., Thérien, F., Morency, P., Drouin, L., Office de consultation publique de Montréal, & Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Secteur environnement urbain et santé. (2007). Mémoire sur les projets de règlement P-06-069 et 04-047-34 : implantation d'un campus de l'Université de Montréal sur le site de la gare de triage d'Outremont déposé à l'Office de consultation publique de Montréal. from <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/46082>
- Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Direction de santé publique, Lessard, R., Drouin, L., & Commission de l'agglomération montréalaise sur l'environnement le transport et les infrastructures. (2007). Mémoire à la Commission de l'agglomération montréalaise sur l'environnement, le transport et les infrastructures. from <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/46080>
- Arien, C., Jongen, E. M., Brijs, K., Brijs, T., Daniels, S., & Wets, G. (2013). A simulator study on the impact of traffic calming measures in urban areas on driving behavior and workload. *Accid Anal Prev*, 61, 43-53. doi: 10.1016/j.aap.2012.12.044
- Association des transports du Canada. (2001). Guide canadien d'aménagement des rues conviviales. Ottawa: Association des transports du Canada.

- Association des transports du Canada. (2016). Guide de modération de la circulation. Retrieved 2016-01-17, 2016, from <http://tac-atc.ca/fr/projets/en-cours/guide-de-moderation-de-la-circulation>
- Babisch, W. (2014). Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise and Health, 16*(68), 1.
- Beck, L. F., Dellinger, A. M., & O'Neil, M. E. (2007). Motor vehicle crash injury rates by mode of travel, United States: using exposure-based methods to quantify differences. *Am J Epidemiol, 166*(2), 212-218. doi: 10.1093/aje/kwm064
- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., . . . Nieuwenhuijsen, M. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet, 383*(9919), 785-795.
- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., . . . Hoek, G. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet, 383*(9919), 785-795. doi: 10.1016/s0140-6736(13)62158-3
- Bella, F., Calvi, A., & D'Amico, F. (2014). Analysis of driver speeds under night driving conditions using a driving simulator. *J Safety Res, 49*, 45-52. doi: 10.1016/j.jsr.2014.02.007
- Bella, F., & Silvestri, M. (2015). Effects of safety measures on driver's speed behavior at pedestrian crossings. *Accident Analysis & Prevention, 83*, 111-124. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.07.016>
- Botchwey, N. D., Falkenstein, R., Levin, J., Fisher, T., & Trowbridge, M. (2014). The Built Environment and Actual Causes of Death: Promoting an Ecological Approach to Planning and Public Health. *Journal of Planning Literature, 30*(3), 261-281. doi: 10.1177/0885412214561337
- Brauer, M., Lencar, C., Tamburic, L., Koehoorn, M., Demers, P., & Karr, C. (2015). *A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes*. University of British Columbia.
- Brugge, D., Lai, Z., Hill, C., & Rand, W. (2002). Traffic injury data, policy, and public health: Lessons from Boston Chinatown. *Bulletin of the New York Academy of Medicine, 79*(1), 87-103. doi: 10.1093/jurban/79.1.87

- Bunn, F., Collier, T., Frost, C., Ker, K., Roberts, I., & Wentz, R. (2003a). Area-wide traffic calming for preventing traffic related injuries. *Cochrane Database Syst Rev*(1), CD003110. doi: 10.1002/14651858.CD003110
- Bunn, F., Collier, T., Frost, C., Ker, K., Roberts, I., & Wentz, R. (2003b). Traffic calming for the prevention of road traffic injuries: systematic review and meta-analysis. *Inj Prev*, 9(3), 200-204.
- Bunn, F., Collier, T., Frost, C., Ker, K., Steinbach, R., Roberts, I., & Wentz, R. (2009). Area-wide traffic calming for preventing traffic related injuries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(4).
- Cairns, J., Warren, J., Garthwaite, K., Greig, G., & Bambra, C. (2014). Go slow: an umbrella review of the effects of 20 mph zones and limits on health and health inequalities. *J Public Health (Oxf)*. doi: 10.1093/pubmed/fdu067
- City Calgary. (2006, Novembre, 2006). The City of Calgary Traffic Calming Policy. Retrieved TTP2002-65, from <http://www.calgary.ca/transportation>
- City of London. (2015). Traffic calming policy for existing neighbourhoods. from <https://www.london.ca/residents/Roads-Transportation/traffic-management/Documents/FINAL%20TC%20Policy.pdf>
- City of Toronto. (2002). Traffic calming policy. from http://www1.toronto.ca/city_of_toronto/transportation_services/traffic/files/pdf/traffic_calming_policy_summary.pdf
- City of Windsor. (2005). Traffic Calming for Residential Areas. from <http://www.citywindsor.ca/residents/traffic-and-parking/transportation-planning/documents/trafficalmingdiscussionpaperseptember2005.pdf>
- Cockings, S., & Martin, D. (2005). Zone design for environment and health studies using pre-aggregated data. *Soc Sci Med*, 60(12), 2729-2742. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2004.11.005>
- Dabis, Dabis, F., & Desenclos, J.-C. (2011). *Hors collection : Epidémiologie de terrain*.
- Dissanayake, D., Aryaija, J., & Wedagama, D. M. P. (2009). Modelling the effects of land use and temporal factors on child pedestrian casualties. *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 1016-1024. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.015>
- Drouin, L., Morency, P., King, N., & Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Direction de santé publique. (2006). Le transport urbain, une question de santé rapport

annuel 2006 sur la santé de la population montréalaise. from <http://www.santepub-mtl.qc.ca/Publication/rapportannuel/2006/rapportannuel2006.pdf>

- Duivenvoorden, K., Hogema, J., Hagenzieker, M., & Wegman, F. (2015). The effects of cyclists present at rural intersections on speed behavior and workload of car drivers: a driving simulator study. *Traffic Inj Prev, 16*, 254-259. doi: 10.1080/15389588.2014.937484
- Elias, W., & Shiftan, Y. (2014). Analyzing and modeling risk exposure of pedestrian children to involvement in car crashes. *Accident Analysis & Prevention, 62*, 397-405.
- Elvik, R. (1997). Evaluations of road accident blackspot treatment: a case of the Iron Law of Evaluation Studies? *Accid Anal Prev, 29*(2), 191-199.
- Elvik, R. (2001a). Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accident Analysis & Prevention, 33*(3), 327-336.
- Elvik, R. (2001b). Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accid Anal Prev, 33*(3), 327-336.
- Elvik, R. (2001c). Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accident; analysis and prevention, 33*(3), 327-336.
- Elvik, R., Sorensen, M. W., & Naevestad, T. O. (2013). Factors influencing safety in a sample of marked pedestrian crossings selected for safety inspections in the city of Oslo. *Accid Anal Prev, 59*, 64-70. doi: 10.1016/j.aap.2013.05.011
- Ewing, R. (1999). *Traffic Calming: State of the Practice*. Washington, DC, USA: Institute of Transportation Engineers/Federal Highway Administration. Retrieved
- Ewing, R., & Dumbaugh, E. (2009). The built environment and traffic safety: A review of empirical evidence. *Journal of Planning Literature, 23*(4), 347-367. doi: 10.1177/0885412209335553
- Ewing, R., Schieber, R. A., & Zegeer, C. V. (2003). Urban Sprawl as a Risk Factor in Motor Vehicle Occupant and Pedestrian Fatalities. *American Journal of Public Health, 93*(9), 1541-1545.
- Faelker, T., Pickett, W., & Brison, R. J. (2000). Socioeconomic differences in childhood injury: a population based epidemiologic study in Ontario, Canada. *Injury Prevention, 6*(3), 203-208. doi: 10.1136/ip.6.3.203
- Finkelstein, M. M., Jerrett, M., & Sears, M. R. (2004). Traffic air pollution and mortality rate advancement periods. *Am J Epidemiol, 160*(2), 173-177.

- Fleiter, J., Lewis, I., & Watson, B. (2014). Promoting a more positive traffic safety culture in Australia: lessons learnt and future directions. *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 25(1), 27.
- Fuller, D., & Morency, P. (2013). A population approach to transportation planning: Reducing exposure to motor-vehicles. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013(916460).
- Gan, W. Q., Davies, H. W., Koehoorn, M., & Brauer, M. (2012). Association of long-term exposure to community noise and traffic-related air pollution with coronary heart disease mortality. *Am J Epidemiol*, 175(9), 898-906.
- Gårder, P. E. (2004). The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine. *Accident Analysis & Prevention*, 36(4), 533-542. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00059-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00059-9)
- Grahame, T. J., Klemm, R., & Schlesinger, R. B. (2014). Public health and components of particulate matter: the changing assessment of black carbon. *J Air Waste Manag Assoc*, 64(6), 620-660.
- Grundy, C., Steinbach, R., Edwards, P., Green, J., Armstrong, B., & Wilkinson, P. (2009). Effect of 20 mph traffic speed zones on road injuries in London, 1986-2006: controlled interrupted time series analysis. *BMJ*, 339. doi: 10.1136/bmj.b4469
- Guttman, N. (2014). *Communication, Public Discourse, and Road Safety Campaigns: Persuading People to be Safer* : Routledge.
- Ha, H.-H., & Thill, J.-C. (2011). Analysis of traffic hazard intensity: A spatial epidemiology case study of urban pedestrians. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(3), 230-240. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.12.004>
- Haddon, W. (1968). The precrash, crash, and postcrash parts of the highway safety program : SAE Technical Paper.
- Haddon, W. (1980). Advances in the Epidemiology of Injuries as a Basis for Public Policy. *Public Health Reports (1974-)*, 95(5), 411-421.
- Haleem, K., Gan, A., & Lu, J. (2013). Using multivariate adaptive regression splines (MARS) to develop crash modification factors for urban freeway interchange influence areas. *Accid Anal Prev*, 55, 12-21. doi: 10.1016/j.aap.2013.02.018
- Handy, S. L., Boarnet, M. G., Ewing, R., & Killingsworth, R. E. (2002). How the built environment affects physical activity: views from urban planning. *Am J Prev Med*, 23(2 Suppl), 64-73.

- Hilbe, J. (2007). *Negative binomial regression*. Cambridge: Cambridge : Cambridge University Press.
- Hopgood, T., Percival, T., Stewart, J., & Ameratunga, S. (2013). A tale of two cities: paradoxical intensity of traffic calming around Auckland schools. *New Zealand Medical Journal*, *126*(1374), 22-28.
- Hoye, A. (2015). Safety effects of section control--an empirical Bayes evaluation. *Accid Anal Prev*, *74*, 169-178. doi: 10.1016/j.aap.2014.10.016
- Hutchinson, T. P., & Wundersitz, L. N. (2011). Road safety mass media campaigns: Why are results inconclusive, and what can be done? *Int J Inj Contr Saf Promot*, *18*(3), 235-241. doi: 10.1080/17457300.2010.540330
- Institut de la statistique du Québec. (2015). *Le bilan démographique du Québec Québec*: Retrieved from www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/bilan2015.pdf.
- Jamson, S., Lai, F., & Jamson, H. (2010). Driving simulators for robust comparisons: a case study evaluating road safety engineering treatments. *Accid Anal Prev*, *42*(3), 961-971. doi: 10.1016/j.aap.2009.04.014
- Jones, S. J., Lyons, R. A., John, A., & Palmer, S. R. (2005a). Traffic calming policy can reduce inequalities in child pedestrian injuries: database study. *Inj Prev*, *11*(3), 152-156. doi: 10.1136/ip.2004.007252
- Jones, S. J., Lyons, R. A., John, A., & Palmer, S. R. (2005b). Traffic calming policy can reduce inequalities in child pedestrian injuries: Database study. *Injury Prevention*, *11*(3), 152-156.
- Khorasani-Zavareh, D., Bigdeli, M., Saadat, S., & Mohammadi, R. (2015). Kinetic energy management in road traffic injury prevention: a call for action. *Journal of Injury and Violence Research*, *7*(1), 36-37. doi: 10.5249/jivr.v7i1.458
- Kim, M., Chang, S. I., Seong, J. C., Holt, J. B., Park, T. H., Ko, J. H., & Croft, J. B. (2012). Road traffic noise: annoyance, sleep disturbance, and public health implications. *American Journal of Preventive Medicine*, *43*(4), 353-360. doi: 10.1016/j.amepre.2012.06.014
- King, N., Morency, P., Lapierre, L., Drouin, L., & Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux de Montréal. Direction de prévention et de santé publique. (2005). Les impacts du transport sur la santé publique. *Rapport synthèse*. from <http://santepub-mtl.qc.ca/Publication/synthese/rapv8n3.pdf> Accès réservé UdeM

- Kjemtrup, K., & Herrstedt, L. (1992). Speed management and traffic calming in Urban areas in Europe: a historical view. *Accident Analysis & Prevention*, 24(1), 57-65. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(92\)90072-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(92)90072-Q)
- Laflamme, L., & Diderichsen, F. (2000). Social differences in traffic injury risks in childhood and youth—a literature review and a research agenda. *Injury Prevention*, 6(4), 293-298.
- Laflamme, L., Hasselberg, M., Reimers, A. M., Cavalini, L. T., & Ponce de Leon, A. (2009). Social determinants of child and adolescent traffic-related and intentional injuries: a multilevel study in Stockholm County. *Soc Sci Med*, 68(10), 1826-1834. doi: 10.1016/j.socscimed.2009.02.050
- Lascala, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. (2000). Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accid Anal Prev*, 32(5), 651-658.
- Leden, L. (2002). Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. *Accident Analysis & Prevention*, 34(4), 457-464. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00043-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00043-4)
- Leden, L., Wikstrom, P. E., Garder, P., & Rosander, P. (2006). Safety and accessibility effects of code modifications and traffic calming of an arterial road. *Accid Anal Prev*, 38(3), 455-461. doi: 10.1016/j.aap.2005.11.002
- Li, Z., Wang, W., Chen, R., Liu, P., & Xu, C. (2013). Evaluation of the impacts of speed variation on freeway traffic collisions in various traffic states. *Traffic Inj Prev*, 14(8), 861-866. doi: 10.1080/15389588.2013.775433
- Licaj, I., Haddak, M., Hours, M., & Chiron, M. (2011). Deprived neighborhoods and risk of road trauma (incidence and severity) among under 25year-olds in the Rhone Departement (France). *J Safety Res*, 42(3), 171-176. doi: 10.1016/j.jsr.2011.05.004
- Martin, T. (2016). *Exploration de données spatiales pour l'analyse des victimes routières et du partage de la rue*. (Maîtrise), École Polytechnique de Montréal, Montréal. Retrieved from <http://publications.polymtl.ca/2132/>
- Miranda-Moreno, L. F., Morency, P., & El-Geneidy, A. M. (2011). The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian-vehicle collision occurrence at signalized intersections. *Accid Anal Prev*, 43(5), 1624-1634. doi: 10.1016/j.aap.2011.02.005
- Morency, P., & Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. (2012). *Aménagements des artères-- pour augmenter ou réduire le risque de blessures?* (pp. 1

texte électronique (13 p). Retrieved from CaQMU database Retrieved from <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2249087>

- Morency, P., Archambault, j., Cloutier, M.-S., Dube, A. S., Plante, C., Tremblay, M., & Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. Secteur environnement urbain et santé. (2013). *Securite des pietons en milieu urbain : enquete sur les aménagements routiers aux intersections*. Montreal: Agence de la sante et des services sociaux de Montreal.
- Morency, P., Gauvin, L., Plante, C., Fournier, M., & Morency, C. (2012). Neighborhood social inequalities in road traffic injuries: the influence of traffic volume and road design. *Am J Public Health, 102*(6), 1112-1119. doi: 10.2105/AJPH.2011.300528
- Morency, P., Thérien, F., & King, N. (2007). *Mémoire sur le projet de révision du réseau artériel : déposé à la Commission permanente du Conseil municipal sur le transport, la gestion des infrastructures et l'environnement* (S. e. u. e. s. Montréal : l'Agence, 2007 [2] Ed.).
- Mountain, L., Maher, M., & Fawaz, B. (1997). *The effects of trend over time on accident model predictions*. Paper presented at the TRAFFIC MANAGEMENT AND ROAD SAFETY. PROCEEDINGS OF SEMINAR K HELD AT PTRC EUROPEAN TRANSPORT FORUM, BRUNEL UNIVERSITY, 1-5 SEPTEMBER 1997. VOLUME P419.
- Mountain, L., Maher, M., & Fawaz, B. (1998). The influence of trend on estimates of accidents at junctions. *Accident Analysis & Prevention, 30*(5), 641-649. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575\(98\)00009-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(98)00009-8)
- Mountain, L. J., Hirst, W. M., & Maher, M. J. (2005a). Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures?: The impact of speed management schemes on 30 mph roads. *Accident Analysis & Prevention, 37*(4), 742-754. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.03.017>
- Mountain, L. J., Hirst, W. M., & Maher, M. J. (2005b). Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures?: The impact of speed management schemes on 30 mph roads. *Accident Analysis & Prevention, 37*(4), 742-754. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.03.017>
- Noland, R. B., & Quddus, M. A. (2005). Congestion and safety: A spatial analysis of London. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 39*(7), 737-754.
- Otte, D., Jänsch, M., & Haasper, C. (2012). Injury protection and accident causation parameters for vulnerable road users based on German In-Depth Accident Study

- GIDAS. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 149-153. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.006>
- Pau, M., & Angius, S. (2001). Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience. *Accident Analysis & Prevention*, 33(5), 585-597. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00070-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00070-1)
- Pau, M., & Angius, S. (2001). Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience. *Accid Anal Prev*, 33(5), 585-597.
- Peek-Asa, C., & Zwering, C. (2003). Role of Environmental Interventions in Injury Control and Prevention. *Epidemiologic Reviews*, 25(1), 77-89. doi: 10.1093/epirev/mxg006
- Persaud, B., & Lyon, C. (2007). Empirical Bayes before-after safety studies: lessons learned from two decades of experience and future directions. *Accid Anal Prev*, 39(3), 546-555. doi: 10.1016/j.aap.2006.09.009
- Priyantha Wedagama, D. M., Bird, R. N., & Metcalfe, A. V. (2006). The influence of urban land-use on non-motorised transport casualties. *Accident Analysis & Prevention*, 38(6), 1049-1057. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2006.01.006>
- Pulugurtha, S. S., & Sambhara, V. R. (2011). Pedestrian crash estimation models for signalized intersections. *Accid Anal Prev*, 43(1), 439-446. doi: 10.1016/j.aap.2010.09.014
- Puvanachandra, P., Bishai, D., & Hyder, A. A. (2013). The Global Road Safety Programme: work in progress. *Injury*, 44 Suppl 4, S1-2. doi: 10.1016/S0020-1383(13)00592-5
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z., Jensen, S., Ketzel, M., Sorensen, M., Hansen, J., . . . Overvad, K. (2012). Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. *Environmental Health*, 11(1), 60.
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Hvidberg, M., Jensen, S. S., Ketzel, M., Sorensen, M., . . . Tjønneland, A. (2011). Air pollution from traffic and cancer incidence: a Danish cohort study. *Environ Health*, 10, 67.
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Jensen, S. S., Ketzel, M., Sørensen, M., Hansen, J., . . . Overvad, K. (2012). Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. *Environmental Health*, 11(1), 1.
- Randall, J. C. (2005). Pedestrian safety impacts of curb extensions: a case study.

- Retting, R. A., Ferguson, S. A., & McCartt, A. T. (2003a). A Review of Evidence-Based Traffic Engineering Measures Designed to Reduce Pedestrian--Motor Vehicle Crashes. *American Journal of Public Health, 93*(9), 1456-1463.
- Retting, R. A., Ferguson, S. A., & McCartt, A. T. (2003b). A review of evidence-based traffic engineering measures designed to reduce pedestrian--motor vehicle crashes.(Author Abstract). *The American Journal of Public Health, 93*(9), 1456.
- Rivest, A. (2012). *La régression de Poisson multiniveau généralisée au sein d'un devis longitudinal : un exemple de modélisation du nombre d'arrestations de membres de gangs de rue à Montréal entre 2005 et 2007*. [Montréal] : Université de Montréal.
- Robinson, W. (2009). Ecological Correlations and the Behavior of Individuals. *Int J Epidemiol, 38*(2), 337-341. doi: 10.1093/ije/dyn357
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2006). *The geography of transport systems*. London ; New York: Routledge.
- Rothman, L., Macarthur, C., To, T., Buliung, R., & Howard, A. (2014). Motor vehicle-pedestrian collisions and walking to school: the role of the built environment. *Pediatrics, 133*(5), 776-784. doi: 10.1542/peds.2013-2317
- Saelens, B. E., & Handy, S. L. (2008). Built Environment Correlates of Walking: A Review. *Med Sci Sports Exerc, 40*(7 Suppl), S550-S566. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817c67a4
- Samet, J. M. (2007). Traffic, air pollution, and health. *Inhal Toxicol, 19*(12), 1021-1027.
- Shefer, D., & Rietveld, P. (1997). Congestion and Safety on Highways: Towards an Analytical Model. *Urban Studies, 34*(4), 679-692. doi: 10.1080/0042098975970
- Siddiqui, C., Abdel-Aty, M., & Huang, H. (2012). Aggregate nonparametric safety analysis of traffic zones. *Accident Analysis & Prevention, 45*(0), 317-325. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.07.019>
- Sørensen, M., Andersen, Z. J., Nordsborg, R. B., Becker, T., Tjønneland, A., Overvad, K., & Raaschou-Nielsen, O. (2013). Long-term exposure to road traffic noise and incident diabetes: a cohort study. *Environmental Health Perspectives (Online), 121*(2), 217.
- Sørensen, M., Andersen, Z. J., Nordsborg, R. B., Jensen, S. S., Lillelund, K. G., Beelen, R., . . . Raaschou-Nielsen, O. (2012). Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study. *PLoS One, 7*(6), e39283.

- Strauss, J., Miranda-Moreno, L. F., & Morency, P. (2014). Multimodal injury risk analysis of road users at signalized and non-signalized intersections. *Accid Anal Prev*, *71*, 201-209. doi: 10.1016/j.aap.2014.05.015
- Tester, J. M., Rutherford, G. W., Wald, Z., & Rutherford, M. W. (2004). A Matched Case-Control Study Evaluating the Effectiveness of Speed Humps in Reducing Child Pedestrian Injuries. *American Journal of Public Health*, *94*(4), 646-650.
- Tiwari, G., Bangdiwala, S., Saraswat, A., & Gaurav, S. (2007). Survival analysis: Pedestrian risk exposure at signalized intersections. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *10*(2), 77-89. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2006.06.002>
- Van Wee, B. (2007). Environmental effects of urban traffic.
- Ville de Saint-John. (2012). Ville de Saint-John - Politique d'apaisement de la circulation. 17.
- von Stackelberg, K., Buonocore, J., Bhave, P. V., & Schwartz, J. A. (2013). Public health impacts of secondary particulate formation from aromatic hydrocarbons in gasoline. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *12*, 19. doi: 10.1186/1476-069X-12-19
- Walz, F. H., Hoefliger, M., & Fehlmann, W. (1983). Speed limit reduction from 60 to 50 km/h and pedestrian injuries. *Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Injury conference*, *11*, 311-318.
- Wang, C., Quddus, M. A., & Ison, S. G. (2009). Impact of traffic congestion on road accidents: A spatial analysis of the M25 motorway in England. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(4), 798-808. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.04.002>
- Wier, M., Weintraub, J., Humphreys, E. H., Seto, E., & Bhatia, R. (2009). An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(1), 137-145. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.001>
- Wier, M., Weintraub, J., Humphreys, E. H., Seto, E., & Bhatia, R. (2009). An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(1), 137-145.
- Woodcock, J., Banister, D., Edwards, P., Prentice, A. M., & Roberts, I. (2007). Energy and transport. *Lancet*, *370*(9592), 1078-1088. doi: 10.1016/S0140-6736(07)61254-9

- Yang, Q., Overton, R., Han, L. D., Yan, X., & Richards, S. H. (2013). The influence of curbs on driver behaviors in four-lane rural highways--A driving simulator based study. *Accid Anal Prev*, 50, 1289-1297. doi: 10.1016/j.aap.2012.09.031
- Yannis, G., Kondyli, A., & Georgopoulou, X. (2014a). Investigation of the impact of low cost traffic engineering measures on road safety in urban areas. *International Journal of Injury Control & Safety Promotion*, 21(2), 181-189.
- Yannis, G., Kondyli, A., & Georgopoulou, X. (2014b). Investigation of the impact of low cost traffic engineering measures on road safety in urban areas. *Int J Inj Contr Saf Promot*, 21(2), 181-189. doi: 10.1080/17457300.2013.796387
- Zahabi, S. A. H., Chang, A., Miranda-Moreno, L. F., & Patterson, Z. (2016). Exploring the link between the neighborhood typologies, bicycle infrastructure and commuting cycling over time and the potential impact on commuter GHG emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 89-103.

ANNEXE A – CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

10 novembre 2015

Objet: Approbation éthique - « Évolution temporelle et la variation spatiale du risque de collision chez les piétons suite aux mesures d'apaisement de la circulation à Montréal »

M. Ronaldo Lauriano Cândido,

Le Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES) a étudié le projet de recherche susmentionné et a délivré le certificat d'éthique demandé suite à la satisfaction des exigences précédemment émises. Vous trouverez ci-joint une copie numérisée de votre certificat; copie également envoyée à votre directeur/directrice de recherche et à la technicienne en gestion de dossiers étudiants (TGDE) de votre département.

Notez qu'il y apparaît une mention relative à un suivi annuel et que le certificat comporte une date de fin de validité. En effet, afin de répondre aux exigences éthiques en vigueur au Canada et à l'Université de Montréal, nous devons exercer un suivi annuel auprès des chercheurs et étudiants-chercheurs.

De manière à rendre ce processus le plus simple possible et afin d'en tirer pour tous le plus grand profit, nous avons élaboré un court questionnaire qui vous permettra à la fois de satisfaire aux exigences du suivi et de nous faire part de vos commentaires et de vos besoins en matière d'éthique en cours de recherche. Ce questionnaire de suivi devra être rempli annuellement jusqu'à la fin du projet et pourra nous être retourné par courriel. La validité de l'approbation éthique est conditionnelle à ce suivi. Sur réception du dernier rapport de suivi en fin de projet, votre dossier sera clos.

Il est entendu que cela ne modifie en rien l'obligation pour le chercheur, tel qu'indiqué sur le certificat d'éthique, de signaler au CERES tout incident grave dès qu'il survient ou de lui faire part de tout changement anticipé au protocole de recherche.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs,

Dominique Langelier, présidente
Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES)
Université de Montréal

DL/GP/gp

c.c. Gestion des certificats, BRDV

Patrick Morency, professeur adjoint, École de santé publique - Département de
médecine sociale et préventive

Yan Kestens, professeur agrégé, École de santé publique - Département de médecine
sociale et préventive

p.j. Certificat #15-138-CERES-D

adresse postale
C.P. 6128, succ. Centre-ville
Montréal QC H3C 3J7

3744 Jean-Brillant
4e étage, bur. 430-11
Montréal QC H3T 1P1

Téléphone : 514-343-6111 poste 2604
ceres@umontreal.ca
www.ceres.umontreal.ca

Comité d'éthique de la recherche en santé

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES), selon les procédures en vigueur, en vertu des documents qui lui ont été fournis, a examiné le projet de recherche suivant et conclu qu'il respecte les règles d'éthique énoncées dans la Politique sur la recherche avec des êtres humains de l'Université de Montréal.

Projet	
Titre du projet	Évolution temporelle et la variation spatiale du risque de collision chez les piétons suite aux mesures d'apaisement de la circulation à Montréal
Étudiant requérant	Ronaldo Lauriano Cândido (ND), Candidat à la M. Sc. en santé publique, École de santé publique - Département de médecine sociale et préventive
Sous la direction de	Patrick Morency, professeur adjoint, École de santé publique - Département de médecine sociale et préventive, Université de Montréal & Yan Kestens, professeur agrégé, École de santé publique - Département de médecine sociale et préventive, Université de Montréal.
Financement	
Organisme	Chaire de recherche appliquée en interventions urbaines et santé des populations
Programme	Bourse d'étude
Titre de l'octroi si différent	
Numéro d'octroi	
Chercheur principal	
No de compte	

MODALITÉS D'APPLICATION

Tout changement anticipé au protocole de recherche doit être communiqué au CERES qui en évaluera l'impact au chapitre de l'éthique.

Toute interruption prématurée du projet ou tout incident grave doit être immédiatement signalé au CERES

Selon les règles universitaires en vigueur, un suivi annuel est minimalement exigé pour maintenir la validité de la présente approbation éthique, et ce, jusqu'à la fin du projet. Le questionnaire de suivi est disponible sur la page web du CERES

Dominique Langelier, présidente
Comité d'éthique de la recherche en santé
Université de Montréal

10 novembre 2015
Date de délivrance

1er décembre 2016
Date de fin de validité

adresse postale
C.P. 6128, succ. Centre-ville
Montréal QC H3C 3J7

3744 Jean-Brillant
4e étage, bur. 430-11
Montréal QC H3T 1P1

Téléphone : 514-343-6111 poste 2604
ceres@umontreal.ca
www.ceres.umontreal.ca

ANNEXE B – GLOSSAIRE ET DÉFINITIONS

Mesure d'apaisement de la circulation : ... « Combinaison de mesures surtout physiques qui réduisent les effets négatifs de l'usage des véhicules automobiles, modifient le comportement des conducteurs et améliorent les conditions pour les autres usagers de la rue ». (Association des transports du Canada, 1998).

Dos-d'âne : mesure d'apaisement de la circulation, dont l'objectif est de ralentir la circulation automobile en surélève la chaussée.



Source : google street view (2016)

Saillie de trottoir : élargissement de trottoir à l'intersection ou au tronçon de façon à rétrécir la voie de circulation. Double effet : diminue le temps d'exposition du piéton sur la chaussée lors de la traversée et élimine une ou plusieurs places de stationnement.



Source : Google Street View (2016)

Tronçon : portion de route comprise entre deux intersections.

Intersection : lieu où se rencontrent trois branches ou plus, peu importe les angles des axes des tronçons.

Volume de véhicule : Quantité de véhicule qui passe à un point précis (ex. intersections) dans une unité de temps.

Volume de piétons : Quantité de piétons qui passe à un point précis (ex. intersections) dans une unité de temps.

Blessés de la route : Terme utilisé dans la présente recherche pour faire référence à toutes les personnes qui a été impliqué dans un accident de la route, peu importe la gravité de blessures.

Piétons : Personne se déplaçant à pied, en marchant ou en courant, par opposition à celui qui utilise un véhicule, une moto ou un vélo.

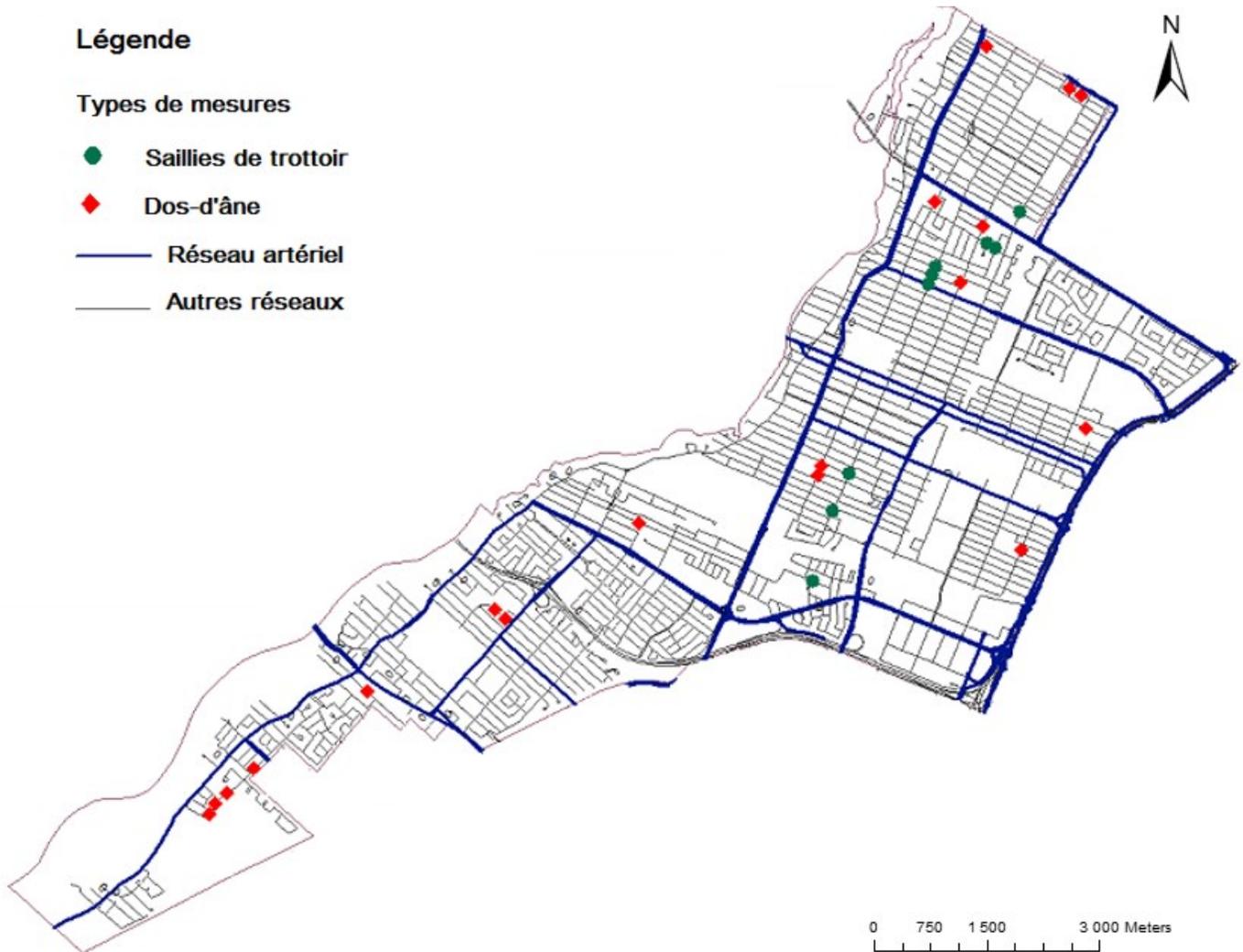
Piétons blessés : Terme utilisé dans la présente recherche pour faire référence aux piétons blessés de la route.

Occupants de véhicules blessés : Terme utilisé dans la présente recherche pour faire référence aux conducteurs et passagers de véhicules blessés de la route.

Conflits : «Une situation observable, au cours de laquelle au moins deux usagers de la route approchent l'un de l'autre dans le temps et dans l'espace, jusqu'à un point tel qu'il y a risque d'accident si leurs mouvements demeurent inchangés». (Amundson et Hyden 1977)

**ANNEXE C – CARTES DE DISTRIBUTION DE MESURES
D’APAIEMENT DE LA CIRCULATION AUX INTERSECTIONS
ET AUX TRONÇONS DES QUATRES ARRONDISSEMENTS À
L’ÉTUDE**

Arrondissement Ahuntsic-Cartierville (n= 27) [saillie de trottoir = 9; Dos-d'âne = 18]*



Sources de données : Mesures d'apaisement de la circulation (2004-2014)

* Il ne s'agit pas d'un inventaire exhaustif des mesures d'apaisement de la circulation implantées au cours de la période étudiée ou présentes sur le territoire.

Arrondissement Rosemont – La Petite-Patrie (n= 187) [Saillie de trottoir = 62; Dos-d’âne = 125]*

Légende

Types de mesures

- Saillies de trottoir
- ◆ Dos-d’âne
- Réseau artériel
- Autres réseaux



Sources de données: Mesures d’apaisement de la circulation (2004-2014)

* Il ne s’agit pas d’un inventaire exhaustif des mesures d’apaisement de la circulation implantées au cours de la période étudiée ou présentes sur le territoire.

Arrondissement du Plateau Mont-Royal (n= 90) [Saillie de trottoir = 86; Dos-d'âne = 4]*

Légende

Types de mesures

- Saillies de trottoir
- ◆ Dos-d'âne
- Réseau artériel
- Autres réseaux



Sources de données : Mesures d'apaisement de la circulation (2004-2014)

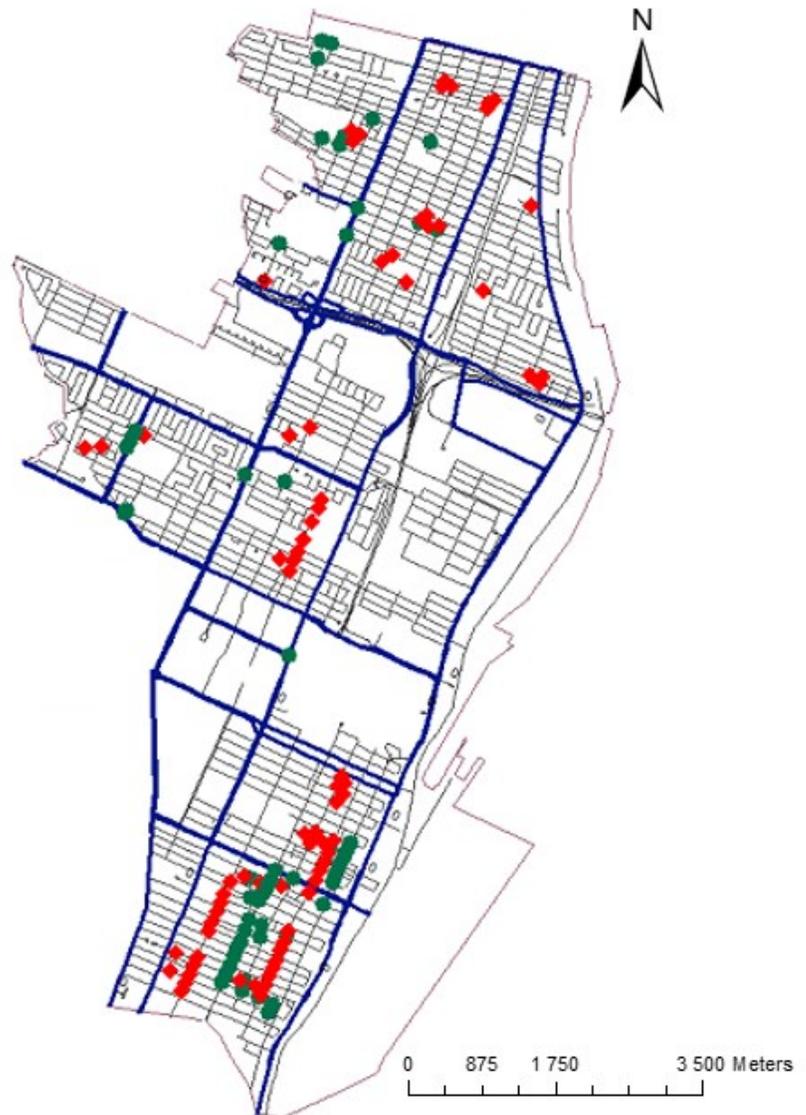
* Il ne s'agit pas d'un inventaire exhaustif des mesures d'apaisement de la circulation implantées au cours de la période étudiée ou présentes sur le territoire.

Arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve (n= 138) [Saillie de trottoir = 62; Dos-d'âne = 76]*

Légende

Types de mesures

- Saillies de trottoir
- ◆ Dos-d'âne
- Réseau artériel
- Autres réseaux



Sources de données : Mesures d'apaisement de la circulation (2004-2014)

* Il ne s'agit pas d'un inventaire exhaustif des mesures d'apaisement de la circulation implantées au cours de la période étudiée ou présentes sur le territoire.

