





Université de Montréal

Potentiel d'une approche populationnelle orientée vers la reconfiguration des  
environnements urbains pour améliorer la sécurité des piétons

par

Patrick Morency

Département de médecine sociale et préventive

Faculté de médecine

Thèse présentée à la faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)  
en santé publique option épidémiologie

Septembre 2010

© Patrick Morency, 2010



Université de Montréal

Faculté de médecine

Cette thèse intitulée :

Potentiel d'une approche populationnelle orientée vers la reconfiguration des environnements urbains pour améliorer la sécurité des piétons

présenté(e) par :  
Patrick Morency

a été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes :

Jennifer O'Loughlin  
président-rapporteur

Lise Gauvin  
directeur de recherche

Marie-France Raynault  
membre du jury

Lucie Laflamme  
examineur externe

Catherine Morency  
représentante du doyen



## RÉSUMÉ

**INTRODUCTION :** En milieu urbain, l'amélioration de la sécurité des piétons pose un défi de santé publique. Pour chaque décès attribuable aux collisions routières, il y a des centaines de personnes blessées et, dans les pays riches, la diminution du nombre annuel de piétons décédés s'expliquerait en partie par la diminution de la marche. Les stratégies préventives prédominantes n'interviennent pas sur le volume de circulation automobile, un facteur pourtant fondamental. De plus, les interventions environnementales pour améliorer la sécurité des infrastructures routières se limitent habituellement aux sites comptant le plus grand nombre de décès ou de blessés. Cette thèse vise à décrire la contribution des volumes de circulation automobile, des pratiques locales de marche et de la géométrie des routes au nombre et à la répartition des piétons blessés en milieu urbain, et d'ainsi établir le potentiel d'une approche populationnelle orientée vers la reconfiguration des environnements urbains pour améliorer la sécurité des piétons.

**MÉTHODE :** Le devis est de type descriptif et transversal. Les principales sources de données sont les registres des services ambulanciers d'Urgences-santé (blessés de la route), l'enquête Origine-Destination (volumes de circulation automobile), la Géobase du réseau routier montréalais (géométrie des routes) et le recensement canadien (pratiques locales de marche, position socioéconomique). Les analyses descriptives comprennent la localisation cartographique (coordonnées x,y) de l'ensemble des sites de collision. Des modèles de régression multi-niveaux nichent les intersections dans les secteurs de recensement et dans les arrondissements.

**RÉSULTATS :** Les analyses descriptives démontrent une grande dispersion des sites de collision au sein des quartiers. Les analyses multivariées démontrent les effets significatifs, indépendants du volume de circulation automobile, de la présence d'artère(s) et d'une quatrième branche aux intersections, ainsi que du volume de marche dans le secteur, sur le nombre de piétons blessés aux intersections. L'analyse multi-niveaux démontre une grande variation spatiale de l'effet du volume de circulation automobile. Les facteurs environnementaux expliquent une part substantielle de la variation spatiale du nombre de blessés et du gradient socioéconomique observé.

**DISCUSSION :** La grande dispersion des sites de collision confirme la pertinence d'une approche ne se limitant pas aux sites comptant le plus grand nombre de blessés. Les résultats suggèrent que des stratégies préventives basées sur des approches environnementales et populationnelle pourraient considérablement réduire le nombre de piétons blessés ainsi que les inégalités observées entre les quartiers.

Mots clés : Blessures, Piétons, Cyclistes, Sécurité routière, Collisions, Véhicules à moteur, Santé publique, Inégalités sociales de santé



## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** In an urban environment, improving pedestrian safety is a public health challenge. For every death attributable to road injuries, there are hundreds of injured people and, in richer countries, decreases in the number of pedestrian deaths may reflect a reduction of walking as a mode of transportation. The predominant preventive strategies have limited or no effect on traffic volume, which is the most important predictor of the number of pedestrians injured by motor vehicles. Moreover, environmental interventions are usually limited to sites that have had the greatest number of deaths or injuries. The purpose of this thesis is to describe the contribution of environmental factors such as traffic volume, local walking practices and street geometry, on the number and the distribution of pedestrian injuries in an urban setting.

**METHOD:** The design of the study is descriptive and cross-sectional. The main data sources were Urgences-santé ambulance service records (road injuries), the Origin-Destination survey (traffic volume), the Geobase for the Montreal road network (street geometry) and the census of Canada (local walking practices, socioeconomic position). The descriptive analyses included map locations (x, y coordinates) for all collision sites. Multi-level regression models nested intersections in census sectors and in boroughs.

**RESULTS:** The descriptive analyses showed a great deal of dispersion of collision sites within neighbourhoods. The multivariate analyses showed the significant effects, independent of traffic volume, of the presence of an artery and of a fourth leg at the intersection, and of pedestrian volume in the neighbourhood, on the number of pedestrian

injuries at intersections. The multi-level analysis showed extensive spatial variation in the effect of traffic volume. This spatial variation in the number of casualties, and the socioeconomic gradient observed, were in large part explained by traffic volume, the presence of an artery and of a fourth leg at the intersection.

**DISCUSSION:** The great dispersion of collision sites supports an approach which is not limited to sites with the highest number of injured pedestrians. This thesis suggests that preventive strategies based on environmental and population approaches could considerably reduce the number of injured pedestrians , as well as road injury inequalities across urban neighbourhoods.

Keywords : Injuries, Road safety, Pedestrians, Cyclists, Collisions, Motor vehicles, Public health, Social inequalities in health

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>XI</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>XII</b>
<b>CHAPITRE 1 - INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
AMPLEUR DU PROBLÈME DE SANTÉ PUBLIQUE .....	1
CONTEXTE .....	3
<i>Émergence de systèmes de surveillance plus performants</i> .....	3
<i>Le rôle fondamental des volumes de circulation automobile et de piétons</i> .....	4
<i>Des aménagements urbains protecteurs ou augmentant le risque</i> .....	6
<b>CHAPITRE 2 - OBJECTIFS ET STRUCTURE DE LA THÈSE</b> .....	<b>9</b>
ÉNONCÉ DES OBJECTIFS GÉNÉRAL ET SPÉCIFIQUES.....	9
MODÈLE CONCEPTUEL, STRUCTURE ET PORTÉE DE LA THÈSE .....	10
<b>CHAPITRE 3 - ÉCRITS SCIENTIFIQUES PERTINENTS</b> .....	<b>13</b>
NOTIONS PRÉALABLES .....	13
<i>Ampleur du problème de santé publique versus niveau de risque</i> .....	13
<i>La cause première des blessures et la matrice de Haddon</i> .....	15
LIMITES GÉNÉRALES DES STRATÉGIES DE PRÉVENTION ACTUELLES .....	15
<i>Améliorations technologiques des véhicules</i> .....	16
<i>Modification du comportement des usagers de la route</i> .....	17
<i>Sécurisation des environnements routiers</i> .....	19
<i>L'approche ciblée sur les « black spots »</i> .....	20
<i>Amélioration des services d'urgences et de traumatologie</i> .....	22
CIRCULATION AUTOMOBILE ET NOMBRE TOTAL DE DÉCÈS ET DE BLESSÉS .....	23
CIRCULATION AUTOMOBILE ET NOMBRE DE PIÉTONS BLESSÉS .....	26
<i>Évolutions temporelles</i> .....	26
<i>Études de type cas-témoin</i> .....	27
<i>Études aux intersections</i> .....	27
<i>Études écologiques</i> .....	28
PRATIQUES LOCALES DE MARCHÉ ET EXPOSITION AU RISQUE DE COLLISION .....	29
<i>Mesure des déplacements à pieds</i> .....	30
<i>Facteurs liés au volume d'exposition au risque de collision</i> .....	31
VOLUMES DE MARCHÉ OU DE PIÉTONS ET NOMBRE DE PIÉTONS BLESSÉS .....	34
<i>Variation selon l'âge des piétons</i> .....	34
<i>Évolutions temporelles</i> .....	35
<i>Variations spatiales</i> .....	36
<i>Atténuation du risque individuel aux endroits où il y a davantage de marche</i> .....	38
GÉOMÉTRIE DU RÉSEAU ROUTIER.....	39
<i>Types de route</i> .....	39
<i>Hiérarchie fonctionnelle du réseau routier</i> .....	39
<i>Hiérarchie fonctionnelle et volume de circulation</i> .....	40
<i>Aménagements des artères augmentant le risque de collision</i> .....	40
<i>Risque posé par les artères urbaines</i> .....	41
<i>Nombre de branches aux intersections</i> .....	42
<i>Risque accru de collisions aux intersections à quatre branches</i> .....	42
<i>Connectivité et risque de collisions</i> .....	42
<i>Atténuation du risque posé par les intersections à quatre branches</i> .....	43

INÉGALITÉS SOCIOÉCONOMIQUES ET VARIATION SPATIALE DES TAUX DE PIÉTONS BLESSÉS .....	43
<b>CHAPITRE 4 - MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>47</b>
DEVIS DE RECHERCHE .....	47
<i>L'approche populationnelle.....</i>	47
<i>Une analyse désagrégée, à l'échelle de l'intersection.....</i>	48
<i>Une analyse multi-niveaux.....</i>	49
LIEU DES RECHERCHES.....	49
USAGERS DE LA ROUTE CIBLÉS ET POPULATION ÉTUDIÉE.....	50
SOURCES DE DONNÉES ET DIMENSIONS ÉTUDIÉES .....	51
<i>Urgences-santé.....</i>	52
<i>Enquête Origine-Destination.....</i>	53
<i>Géobase - réseau routier numérique.....</i>	54
<i>Recensement.....</i>	55
<i>Délimitations géographiques.....</i>	55
SÉLECTION DES CAS ET CRITÈRES D'EXCLUSION .....	56
ANALYSES.....	57
ÉTHIQUE.....	58
<b>CHAPITRE 5 - FROM TARGETED "BLACK SPOTS" TO AREA-WIDE PEDESTRIAN SAFETY (ARTICLE 1) .....</b>	<b>61</b>
<b>CHAPITRE 6 - NEIGHBOURHOOD VARIATIONS IN THE EFFECT OF TRAFFIC VOLUME ON PEDESTRIAN, CYCLIST AND MOTOR VEHICLE OCCUPANT INJURIES (ARTICLE 2).....</b>	<b>85</b>
<b>CHAPITRE 7 - NEIGHBOURHOOD INEQUALITIES IN PEDESTRIAN, CYCLIST AND CAR OCCUPANT INJURIES ARE PRIMARILY EXPLAINED BY TRAFFIC VOLUME AND ROAD DESIGN (ARTICLE 3) .....</b>	<b>123</b>
<b>CHAPITRE 8 - DISCUSSION.....</b>	<b>166</b>
LIMITES DES APPROCHES CIBLÉES POUR RÉDUIRE LE NOMBRE DE PIÉTONS BLESSÉS .....	166
FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX LIÉS AUX NOMBRE DE PIÉTONS BLESSÉS .....	168
<i>Effet du volume de trafic.....</i>	168
<i>Effet des pratiques locales de marche.....</i>	170
<i>Effet de la géométrie du réseau routier.....</i>	172
<i>Hiérarchie fonctionnelle du réseau routier.....</i>	172
<i>Nombre de branches aux intersections.....</i>	173
VARIATION SPATIALE DU NOMBRE DE PIÉTONS BLESSÉS .....	175
<i>Effet du volume de trafic et de la géométrie des routes.....</i>	176
<i>Variations liées au niveau socio-économique des résidents.....</i>	176
VERS UNE STRATÉGIE DE PRÉVENTION POPULATIONNELLE : EFFETS ESTIMÉS D'UNE RÉDUCTION GLOBALE DES VOLUMES DE CIRCULATION EN MILIEU URBAIN .....	178
<i>Impact potentiel sur le nombre de piétons blessés.....</i>	178
<i>Effet paradoxal lié à l'augmentation du volume de marche.....</i>	179
<i>Impact potentiel sur les inégalités.....</i>	180
LIMITES.....	182
AMÉLIORATION DU MODÈLE CONCEPTUEL INITIAL.....	184
<b>CHAPITRE 9 - CONCLUSION .....</b>	<b>191</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>195</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>212</b>
ANNEXE 1 - RAPPORT D'INTERVENTION PRÉ-HOSPITALIÈRE (RIP).....	212
ANNEXE 2 – COLLECTE DE DONNÉES ET SÉLECTION DES BLESSÉS.....	213
ANNEXE 3 - EFFET D'UNE RÉDUCTION GLOBALE DES VOLUMES DE TRAFIC .....	222
ANNEXE 4 – CURRICULUM VITAE.....	225

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE 2 – OBJECTIFS

<b>FIGURE A : MODÈLE CONCEPTUEL DES DÉTERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA SÉCURITÉ DES PIÉTONS QUI FONT L'OBJET DE LA THÈSE (MODÈLE INITIAL, DÉVELOPPÉ EN 2005).....</b>	<b>11</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

### CHAPITRE 5 – FROM TARDETED "BLACK SPOTS" TO AREA-WIDE PEDESTRIAN SAFETY (ARTICLE 1)

<b>FIGURE 1: A) DISTRIBUTION OF INJURED PEDESTRIANS AT OR BETWEEN INTERSECTIONS (1999-2003). B) BLACK SPOTS IN MONTREAL (1999-2003) ACCORDING TO URGENCES-SANTÉ.....</b>	<b>77</b>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

<b>FIGURE 2 : NUMBER OF PEDESTRIAN VICTIMS FOR EACH MONTREAL BOROUGH ACCORDING TO URGENCES-SANTÉ (1999-2003).....</b>	<b>78</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

<b>FIGURE 3: DENSITY MAPPING FO PEDESTRIAN VICTIMS .....</b>	<b>79</b>
--------------------------------------------------------------	-----------

<b>FIGURE 4: DISTRIBUTION OF PEDESTRIAN VICTIMS IN ROSEMONT/PETITE PATRIE ACCORDING TO URGENCES-SANTÉ (1999-2003).....</b>	<b>80</b>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

<b>FIGURE 5: NUMBER OF PEDESTRIAN VICTIMS FOR EACH MONTREAL BOROUGH ACCORDING TO URGENCES-SANTÉ (1999-2003).....</b>	<b>83</b>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

### CHAPITRE 6 – NEIGHBOURHOOD VARIATIONS IN THE EFFECT OF TRAFFIC VOLUME ON PEDESTRIAN, CYCLIST AND MOTOR VEHICLE OCCUPANT INJURIES (ARTICLE 2)

<b>FIGURE 1: DEPICTION OF OBSERVED NUMBER OF ROAD USERS INJURED AT 17 636 INTERSECTIONS AS A FUNCTION OF TRAFFIC VOLUME AND ROAD TYPES AT INTERSECTIONS .....</b>	<b>116</b>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

<b>FIGURE 2: SPATIAL VARIATION IN THE EXPOSURE TO ENVIRONMENTAL FACTORS MEASURED AT 17 636 INTERSECTIONS LOCATED IN 27 BOROUGHES ON THE ISLAND OF MONTREAL .....</b>	<b>117</b>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

<b>FIGURE 3: ASSOCIATION* BETWEEN THE NUMBER OF INJURED ROAD USERS AND TRAFFIC VOLUME AT 17 636 INTERSECTIONS, GROUPED BY SOCIOECONOMIC POSITION OF BOROUGH RESIDENTS .....</b>	<b>118</b>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

### CHAPITRE 7 - NEIGHBOURHOOD INEQUALITIES IN PEDESTRIAN, CYCLIST AND CAR OCCUPANT INJURIES ARE PRIMARILY EXPLAINED BY TRAFFIC VOLUME AND ROAD DESIGN (ARTICLE 3)

<b>FIGURE 1: EVENT RATE RATIOS FOR THE ASSOCIATION BETWEEN SOCIOECONOMIC POSITION OF CENSUS TRACT RESIDENTS* AND THE MEAN NUMBER OF INJURED PEDESTRIANS AT INTERSECTIONS IN INCREASINGLY COMPLEX MULTIVARIATE MODELS .....</b>	<b>160</b>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

<b>FIGURE 2: ASSOCIATION BETWEEN NEIGHBOURHOOD HOUSEHOLD INCOME AND THE NUMBER OF INJURED PEDESTRIANS, CYCLISTS AND MOTOR VEHICLE OCCUPANTS (MVO).....</b>	<b>161</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

## **CHAPITRE 8 - DISCUSSION**

**FIGURE B : RÉPARTITION DES INTERSECTIONS SELON LE NOMBRE DE PIÉTONS BLESSÉS PAR INTERSECTION ET ILLUSTRATION DES INTERSECTIONS CONSIDÉRÉES PAR UNE APPROCHE CIBLÉE.....167**

**FIGURE C : MODÈLE CONCEPTUEL DES DÉTERMINANTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA SÉCURITÉ DES PIÉTONS QUI FONT L'OBJET DE LA THÈSE DE DOCTORAT (MODÈLE RÉVISÉ, MARS 2010) .....188**

## **ANNEXE 2 - COLLECTE DE DONNÉES ET SÉLECTION DES BLESSÉS**

**FIGURE 1 : PROCÉDURES D'EXCLUSION .....215**

**FIGURE 2 : RÉPARTITION DES 3 968 RAPPORTS D'INTERVENTION AMBULANCIÈRE (RIP) EXCLUS SELON LA CAUSE DE L'EXCLUSION.....219**

## **ANNEXE 3 - EFFET D'UNE RÉDUCTION GLOBALE DES VOLUMES DE TRAFIC**

**FIGURE 1: IMPACT D'UNE RÉDUCTION DE 25 % DU VOLUME DE TRAFIC AUX INTERSECTIONS DES QUARTIERS LES PLUS PAUVRES SUR LE NOMBRE MOYEN DE PIÉTONS BLESSÉS, EN FONCTION DU TYPE D'INTERSECTION ET DU VOLUME INITIAL DE TRAFIC À L'INTERSECTION. ....224**

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE 4 – MÉTHODOLOGIE

TABLEAU A : CONCEPTS ÉTUDIÉS, SOURCES DE DONNÉES, PRINCIPALES VARIABLES UTILISÉES ET BRÈVE DESCRIPTION DES VARIABLES .....	52
TABLEAU B : BILAN ROUTIER MONTRÉALAIS, SELON DIFFÉRENTES SOURCES* (1999 à 2003).....	53

### CHAPITRE 5 – FROM TARGETED "BLACK SPOTS" TO AREA-WIDE PEDESTRIAN SAFETY (ARTICLE 1)

TABLE 1 : DESCRIPTIVE INDICATORS (1999-2003) .....	81
TABLE 2: NUMBER AND PROPORTION OF INTERSECTIONS WITH AT LEAST ONE PEDESTRIAN VICTIM ACCORDING TO PERIOD OF OBSERVATION.....	81
TABLE 3: DESCRIPTIVE INDICATORS FOR EACH BOROUGH (1999-2003).....	82

### CHAPITRE 6 – NEIGHBOURHOOD VARIATIONS IN THE EFFECT OF TRAFFIC VOLUME ON PEDESTRIAN, CYCLIST AND MOTOR VEHICLE OCCUPANT INJURIES (ARTICLE 2)

TABLE 1 OBSERVED NUMBER OF INJURED PEDESTRIANS, CYCLISTS, AND MOTOR VEHICLE OCCUPANTS (MVO) ACROSS 17 636 INTERSECTIONS AS A FUNCTION OF TRAFFIC VOLUME, ROAD TYPES AND NUMBER OF LEGS AT INTERSECTIONS .....	119
TABLE 2: MULTILEVEL MULTIVARIATE ANALYSES PREDICTING NUMBER OF PEDESTRIANS, CYCLISTS, AND MOTOR VEHICLE OCCUPANTS INJURED ACROSS 17 636 INTERSECTIONS AS A FUNCTION OF INTERSECTION AND BOROUGH'S RESIDENTS CHARACTERISTICS.....	120
TABLE 3: VARIATION OF INTERSECTION-LEVEL AND OF BOROUGH-LEVEL VARIABLES ACROSS THE 27 BOROUGH.....	121
TABLE 4: BOROUGH-LEVEL VARIATION IN THE NUMBER OF PEDESTRIANS, CYCLISTS, AND MOTOR VEHICLE OCCUPANTS INJURED AT INTERSECTIONS AND EFFECT OF TRAFFIC VOLUME.....	122

**CHAPITRE 7 - NEIGHBOURHOOD INEQUALITIES IN PEDESTRIAN, CYCLIST AND CAR OCCUPANT INJURIES ARE PRIMARILY EXPLAINED BY TRAFFIC VOLUME AND ROAD DESIGN (ARTICLE 3)**

**TABLE 1: VARIATION OF INTERSECTION-LEVEL AND OF CENSUS TRACT-LEVEL VARIABLES IN 506 CENSUS TRACTS ON THE ISLAND OF MONTREAL, CANADA. ....162**

**TABLE 2: CHARACTERISTICS OF 17 498 INTERSECTIONS ON THE ISLAND OF MONTREAL AS A FUNCTION OF SOCIOECONOMIC POSITION OF CT RESIDENTS .....163**

**TABLE 3: CHARACTERISTICS OF 506 CENSUS TRACTS ON THE ISLAND OF MONTREAL AS A FUNCTION OF SOCIOECONOMIC POSITION OF RESIDENTS .....163**

**TABLE 4. MULTILEVEL MULTIVARIATE MODELING ANALYSES PREDICTING NUMBER OF PEDESTRIANS, CYCLISTS, AND MOTOR VEHICLE OCCUPANTS INJURED ACROSS 17498 INTERSECTIONS AS A FUNCTION OF CENSUS TRACT (HOUSEHOLD INCOME, POPULATION DENSITY, COMMUTE TRAVEL MODES) AND INTERSECTIONS (TRAFFIC VOLUME, ROAD TYPE, NUMBER OF LEGS) CHARACTERISTICS. ....164**

**ANNEXE 2 - COLLECTE DE DONNÉES ET SÉLECTION DES BLESSÉS**

**TABLEAU 1 : NOMBRE D'INTERVENTIONS D'URGENCES-SANTÉ SELON LE NOMBRE DE BLESSÉS PAR COLLISION.....220**



## ABRÉVIATIONS

AIPCR :	Association Mondiale de la Route
CCATM :	Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé
CDC :	Centers for Disease Control and Prevention
CT :	Census tract
DSP :	Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal
ERR :	Event Rate Ratio
FHWA :	Federal Highway Administration
LOESS :	Régressions locales pondérées
NHTSA :	National Highway Traffic Safety Administration.
OR :	Odds Ratio
RIP :	Rapports d'intervention pré-hospitalière
SAAQ :	Société d'assurance-automobile du Québec
SR :	Secteur de recensement
TQSR :	Table québécoise sur la sécurité routière
VUS :	Véhicule utilitaire sport

## REMERCIEMENTS

Au fil des ans, plusieurs personnes ont contribué, directement ou indirectement, à la complétion de cette recherche.

J'aimerais d'abord remercier Lise Gauvin, qui a dirigé pendant de si longues années un médecin trop intéressé par son travail pour produire une thèse avec diligence. J'espère qu'elle trouvera dans cette thèse un résultat à la mesure de sa persévérance, de l'humanisme de son soutien et de la rigueur des ses avis.

La réalisation de cette thèse n'aurait pas été possible sans l'aimable collaboration du personnel d'Urgences-santé, en particulier Éric Lareau. Les données obtenues d'Urgences-santé ont pu être cartographiées grâce à Marie-Soleil Cloutier, dont l'expertise m'est toujours bénéfique. Catherine Morency a fourni, à partir de l'enquête Origine-Destination, l'information cruciale sur les volumes de circulation automobile. Céline Plante m'a guidé dans les procédures de l'analyse multi-niveaux, tandis que Michel Fournier dénouait les nœuds par des discussions sollicitées au gré de mes difficultés. L'expertise de Lise Gauvin sur les méthodes d'analyse multi-niveaux a permis l'emploi de méthodes appropriées pour confirmer ou infirmer les hypothèses de travail. Le travail diligent et efficace de Sylvie Gauthier, pour la traduction des articles, et de Marie-Claude Godin, pour la mise en forme et l'édition finale, ont permis de rencontrer les délais finaux.

À la Direction de santé publique, je remercie mes collègues du secteur d'Environnement Urbain et Santé qui, par leur rigueur et leur engagement, rendent possible

une pratique de santé publique pertinente, soutenue par la recherche. En particulier, François Thérien, pour le partage de ses connaissances encyclopédiques, Norman King, pour le transfert des connaissances en pratiques quotidiennes, Sophie Paquin, parce que nous avons trop besoin d'une urbaniste aussi dévouée, Audrey Smargiassi et Stéphane Perron, pour leurs conseils et avis méthodologiques, Sophie Goudreau, pour la production efficace de données et cartes en tous genres, Anne Pelletier, pour avoir ajouté l'activité physique à nos objets de travail, André Bergeron, pour sa connaissance des dynamiques communautaires, Céline Gosselin, Ginette Beaulne, Céline Plante, François Tessier, Yan Kesten, Louis Jacques, et les autres professionnels qui complètent l'équipe. Sans oublier Louis Drouin, pour la coordination efficace d'une telle équipe multidisciplinaire et, Johanne Boileau et Marie-Claude Godin, qui soutiennent et cimentent l'équipe au quotidien. Je remercie aussi Yvonne Robitaille, pour mon intégration dans le domaine de la prévention des blessures en santé publique, et Luis Miranda, pour l'apport de méthodes propres à l'ingénierie civile.

Au niveau personnel, je dois remercier Raynald Samuel, parce que son amitié est de tous mes projets, et Julie Verrette, pour son indéfectible soutien, mais aussi parce que la rédaction finale d'une thèse empiète un peu sur la vie amoureuse.







## **CHAPITRE 1 - INTRODUCTION**

### **Ampleur du problème de santé publique**

Depuis plusieurs décennies, la santé publique poursuit l'objectif de réduire les traumatismes routiers. La réduction de la mortalité routière a été célébrée comme l'un des grands succès de la santé publique au XX<sup>e</sup> siècle, notamment parce qu'il y a eu une augmentation concomitante du volume de déplacements motorisés (CDC, 1999). Aujourd'hui, cette interprétation du bilan routier peut toutefois être contestée, pour différentes raisons.

Premièrement, l'évolution des traumatismes routiers n'est pas aussi favorable que le décrivent les indicateurs sur la mortalité (Richter & al., 2001; Marwick, 1992). Les décès de la route ne représentent que la pointe de l'iceberg (Sahai & al., 2005). Par exemple, dans un milieu urbain comme Montréal, il y a environ 200 fois plus de piétons blessés que de piétons décédés (SAAQ, 2006b). Or, de 1995 à 2005, au Québec, alors que le nombre total de décès de la route diminuait de 20 %, passant de 883 à 704 décès/an, le nombre de personnes blessées suite à une collision routière augmentait de 20 %, passant de 48 695 à 58 626 blessés/an (SAAQ, 2006b). Ainsi, au cours de cette période les coûts d'indemnisation défrayés par la Société d'assurance automobile du Québec ont augmenté de 50 %, passant de 689 à 1 032 millions de dollars par an (SAAQ, 2006a).

Deuxièmement, le fardeau sanitaire associé aux collisions reste très élevé. Dans son rapport annuel sur la santé dans le monde en 2003, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a même qualifié « d'épidémie occulte » l'énorme fardeau sanitaire associé aux véhicules motorisés (OMS, 2003). L'OMS a estimé qu'en 2020 les décès et blessures

causés par les accidents de circulation seront la troisième cause d'années de vie perdues corrigées pour l'incapacité (AVCI) dans le monde. Aux États-Unis et au Canada, environ 40 000 et 3 000 décès de la route surviennent en moyenne chaque année (OMS, 2003). Aux États-Unis, chaque année, environ 5 000 piétons décèdent et 48 000 piétons sont blessés suite à une collision avec un véhicule automobile (Beck & al., 2007). Au Québec, de 2003 à 2008, de 71 à 93 piétons sont décédés chaque année suite à une collision et, selon les rapports d'accidents policiers, plus de 3 000 piétons sont blessés annuellement (SAAQ, 2009).

Troisièmement, l'amélioration du bilan routier concerne surtout les occupants de véhicules à moteur, puisque l'évolution du risque de blessures n'est pas aussi favorable pour les autres usagers de la route, notamment les piétons et cyclistes. D'une part, la diminution du nombre de décès chez les piétons et les cyclistes s'explique en partie par la diminution de la pratique de la marche et du vélo (DiGuseppi & al., 1997; DiGuseppi & al., 1998; Roberts, 1993). D'autre part, le risque de décès par déplacement et le risque de blessures par kilomètre parcouru restent beaucoup plus élevés pour les piétons et cyclistes que pour les automobilistes (Beck & al., 2007; Sonkin & al., 2006; British Medical Association, 1997).

Enfin, les autres problèmes de santé associés à la motorisation, à la dépendance à l'automobile, sont de mieux en mieux documentés; la pollution de l'air extérieur, les gaz à effet de serre (GES), l'inactivité physique, le bruit, par exemple, sont devenus des cibles d'intervention légitimes et même prioritaires en santé publique (British Medical Association, 1997; Dora, 1999; Litman, 2003; Smargiassi & al., 2006; Seto & al., 2007; Woodcock & al., 2007; Woodcock & al., 2009). Les objectifs de santé publique



comprennent désormais non seulement la réduction des traumatismes routiers mais aussi la promotion des transports actifs (Drouin & al., 2006), qui sont bénéfiques pour la santé et pour l'environnement, ainsi que la réduction des autres problèmes de santé associés aux déplacements en véhicules automobiles.

En résumé, l'évolution du bilan routier n'est pas aussi favorable qu'on pourrait le croire en se basant uniquement sur des indicateurs de mortalité. Pour les piétons, l'évolution apparemment favorable du bilan est survenue dans un contexte de grande réduction de la marche et du nombre de piétons sur les routes. La promotion de la marche est aujourd'hui à l'agenda de la santé publique, dans un contexte où le risque de blessures et de séquelles graves est plus élevé pour les piétons que pour les automobilistes. Dans la prochaine section le contexte duquel a émergé cette thèse et les enjeux de recherche seront présentés.

## **Contexte**

### ***Émergence de systèmes de surveillance plus performants***

La prévention des blessures aux piétons causées par un véhicule à moteur débute par une surveillance épidémiologique dont le but est de produire de l'information précise et non biaisée sur les blessures, les victimes et les circonstances du traumatisme (Rivara, 2003). Les trois sources habituelles d'information pour décrire l'ampleur et l'évolution du fardeau sanitaire lié aux collisions routières sont les registres de décès, les registres d'hospitalisations et les rapports d'accidents des policiers. En santé publique, les portraits épidémiologiques se limitent habituellement aux décès et aux hospitalisations (Hamel & Pampalon, 2002), qui ne représentent qu'une fraction de l'ensemble des blessés de la route (Sahai & al., 2005). De plus, ces deux registres incluent les lieux de résidence mais ils ne

permettent pas de connaître les lieux ni les circonstances détaillées des collisions. Pour détecter un plus grand nombre de blessés de la route et connaître les circonstances de l'événement, les constats d'accidents constituent la source d'information la plus utilisée, puisque les policiers consignent le lieu précis de la collision ainsi que les mouvements des véhicules. Plusieurs chercheurs ont cependant rapporté une sous-déclaration systématique de certaines catégories d'usagers (ex. : les cyclistes) ou de collisions (ex. : entrée de maison privée) (Agran & al., 1990; Cryer & al., 2001; Dhillon & al., 2001; Langley & al., 2003; Rosman & Knuiman, 1994; Sciortino & al., 2005).

Jusqu'à récemment, l'analyse de la localisation précise des lieux de collision se limitait aux sites comptant le plus grand nombre de blessés, les « points noirs » (Elvik, 1997; Messier & Bourbeau, 1989) ou à des échantillons arbitraires de sites (Garder, 2004; Lee & Abdel-Aty, 2005). L'évolution des systèmes d'information géographiques rend aujourd'hui possible l'analyse spatiale d'un grand nombre de sites de collision, voire de tous les sites connus (Lightstone & al., 2001; Pulugurtha & al., 2007; Richards & al., 1999; Schuurman & al., 2009). Des études publiées récemment localisent l'ensemble des sites où les piétons ont été blessés, mais elles analysent spécifiquement les zones comptant le plus grand nombre de blessés (Pulugurtha & al., 2007; Schuurman & al., 2009). Ces développements seront mis à profit dans la thèse pour améliorer la connaissance sur la localisation de l'ensemble des piétons blessés par un véhicule à moteur dans un milieu urbain.

### ***Le rôle fondamental des volumes de circulation automobile et de piétons***

Le volume de circulation automobile est un déterminant majeur du nombre de collisions routières. Lors d'une collision, les dommages résultent du transfert de l'énergie

cinétique du véhicule aux objets et aux personnes (Haddon, 1970; Haddon, 1995). De nombreuses études, portant sur des individus, des populations, des intersections, des quartiers, des pays, etc., ont démontré la grande contribution des volumes de circulation à l'ampleur du bilan routier (Adams, 1987; Ewing & Dumbaugh, 2009; Fridström & al., 1995; Lee & Abdel-Aty, 2005; Lyon & Persaud, 2002; Roberts & al., 1992; Roberts & Crombie, 1995). Or, en milieu urbain, les comptages de véhicules et les estimés de trafic sont habituellement limités aux principales voies de circulation, aux autoroutes et aux artères. À défaut d'obtenir des estimés de trafic pour l'ensemble d'un réseau routier, les recherches doivent se limiter aux sites pour lesquels des comptages sont disponibles (Garder, 2004; Lee & Abdel-Aty, 2005; Lyon & Persaud, 2002) ou utiliser des indicateurs (proxies) du volume de trafic, comme la densité d'artères, de commerces ou d'emploi (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Graham & Glaister, 2003; Joly & al., 1991b). Encore aujourd'hui, des études épidémiologiques portant sur la distribution des piétons blessés en milieu urbain n'incluent aucune mesure ni indicateur des volumes de circulation automobile à l'échelle locale (Priyantha Wedagama & al., 2006; Sebert Kuhlmann & al., 2009).

Le volume de marche dans une ville et le nombre de piétons sur le réseau routier sont des indicateurs du volume d'exposition au risque de collision ou du nombre de personnes exposées. Plusieurs études ont quantifié l'association entre les volumes de marche et le nombre de piétons blessés, tant à l'échelle des intersections (Garder, 2004; Leden, 2002; Lyon & Persaud, 2002), qu'à l'échelle des quartiers d'une ville ou des villes entières (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Graham & Glaister, 2003; Jacobsen, 2003; Lascala & al., 2000; Lascala & al., 2004; Sebert Kuhlmann & al., 2009; Wier & al., 2009). Il semble que, toutes choses égales par ailleurs, lorsque le volume de marche dans une ville

ou le nombre de piétons à une intersection augmentent, le nombre total de piétons blessés augmente. Cette augmentation n'est toutefois pas linéaire (Elvik, 2009). Par exemple, le nombre de piétons blessés augmente de 28 à 32% dans les endroits où il y a deux fois plus de marche et, ainsi, le fardeau de santé publique augmente mais le risque individuel pour chaque piéton diminue, un concept connu par l'expression « Safety in numbers » (Jacobsen, 2003; Leden, 2002; Robinson, 2005). Dans la majorité des études écologiques<sup>1</sup>, les indicateurs du volume de marche sont simplement ajoutés aux nombreux autres facteurs environnementaux inclus dans les analyses multivariées : position socio-économique ou composition ethnique des quartiers, densité de commerces, présence de bars, densité d'artères, etc. D'une part, ces variables étant toutes, d'une manière ou d'une autre, associées au volume de marche ou de piétons (Gauvin & al., 2008; Miranda-Moreno & al., 2010), l'effet de la marche pourrait être sous-estimé. D'autre part, en l'absence de modèle théorique, le volume de marche est ainsi traité comme un facteur de risque de blessure, plutôt qu'un indicateur du volume d'exposition au risque. L'un des objectifs de cette thèse est de quantifier l'association entre, d'une part, les volumes de marche et de circulation automobile et, d'autre part, le nombre de piétons blessés par un véhicule à moteur dans un milieu urbain.

### ***Des aménagements urbains protecteurs ou augmentant le risque***

Contrairement à d'autres domaines de la santé publique, la prévention des blessures inclut la prise en compte des contextes, de l'environnement, depuis plusieurs années (Peden & al., 2004; Peek-Asa & Zwierling, 2003). Il est même généralement reconnu que les stratégies environnementales constituent souvent la stratégie d'intervention la plus efficace

---

<sup>1</sup> Étude écologique : Étude dans laquelle les unités d'analyse sont des populations ou des groupes d'individus plutôt que des individus (Last, 1995). Par exemple, les études mentionnées comparent les taux de piétons blessés pour différentes populations, à l'échelle des villes ou des pays.

pour réduire les traumatismes routiers (Haddon, 1974; Haddon, 1980; Peek-Asa & Zwerling, 2003; Retting, 2003; Roberts & al., 1994). La grande majorité des programmes visant l'amélioration de la sécurité des infrastructures se limitent toutefois aux sites comptant le plus grand nombre de blessés (Elvik, 1997).

De nombreuses études descriptives ou étiologiques mettent en relief l'influence de l'environnement sur le risque de blessures pour un piéton ou sur le nombre de piétons blessés dans un quartier. Par exemple, des études de type cas-témoin démontrent un effet significatif du volume de trafic et du stationnement des véhicules dans la rue sur le risque de blessures pour les jeunes piétons (Agran & al., 1996; Mueller & al., 1990; Roberts & al., 1995b; Tester & al., 2004). Des études écologiques mettent en relief l'influence de variables liées à la forme urbaine, telles que la densité de population, d'habitations, de commerces ou de bars, et de variables liées au réseau routier, telles que la densité de trafic ou d'artères (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Lascala & al., 2000; Sebert Kuhlmann & al., 2009; Wier & al., 2009). À l'échelle des intersections, une influence de la largeur des routes, de la vitesse des véhicules et du nombre de branches<sup>2</sup> a été décrite (Garder, 2004; Lyon & Persaud, 2002). Un effet protecteur des dos d'âne allongés, des terre-pleins centraux ou d'autres mesures d'apaisement de la circulation<sup>3</sup> (« traffic calming ») a été démontré par des études à devis cas-témoin ou expérimental (Elvik, 2001; Ewing & Dumbaugh, 2009; Grundy & al., 2009; King & al., 2003; Leden & al., 2006; Tester & al., 2004).

---

<sup>2</sup> Le nombre de branches d'une intersection correspond au nombre de rues connectées à l'intersection. En anglais les termes « legs », « three-legged intersection » et « four-legged intersection » sont utilisés.

<sup>3</sup> Les mesures d'apaisement de la circulation visent à réduire les problèmes liés à la circulation automobile dans les quartiers résidentiels, en réduisant la vitesse ou le volume de véhicules. Elles comprennent, par exemple, des mesures de déviation horizontales (saillies de trottoirs, chicanes) et des mesures de déviation verticales (dos d'âne allongé, passage pour piétons surélevé) (Ewing, 1999; Association des transports du Canada, 2001)

Les recherches portant sur l'effet des aménagements urbains sur le nombre de piétons blessés comportent les limites précédemment nommées : limitation à un échantillon arbitraire de sites; agrégation des données par un devis écologique; absence de modèle théorique. Sauf exceptions (Priyantha Wedagama & al., 2006; Wier & al., 2009), les études écologiques ne précisent pas le rôle respectif de chacun des facteurs étudiés. Les effets des différents facteurs environnementaux sont implicitement considérés comme étant indépendants et constants sur tout le territoire étudié. De plus, peu d'études distinguent les effets respectifs du volume de trafic et des aménagements particuliers des routes à fort débit (ex : voies et chaussées plus larges).

La thèse dans son ensemble vise à décrire la contribution du volume de marche, du volume de circulation automobile et des aménagements urbains au nombre et à la répartition des piétons blessés

## CHAPITRE 2 - OBJECTIFS ET STRUCTURE DE LA THÈSE

### Énoncé des objectifs général et spécifiques

Compte tenu du fardeau important que constituent les blessures aux piétons par des collisions avec des véhicules automobiles, du contexte de l'émergence de système de surveillance plus performants de ce problème de santé publique et des enjeux de recherche présentés ci-dessus, l'objectif général de la thèse est de :

- Établir le potentiel d'une approche populationnelle<sup>4</sup> orientée vers la reconfiguration des environnements urbains pour améliorer la sécurité des piétons.

Tel que mentionné ci-dessus, cet objectif général est réalisé en poursuivant trois objectifs spécifiques :

- Décrire la répartition géographique des blessés de la route dans un milieu urbain, en utilisant une approche populationnelle;
- Quantifier l'association entre, d'une part, la circulation automobile et les pratiques locales de marche et, d'autre part, le nombre et la répartition des piétons blessés par un véhicule à moteur;
- Quantifier l'association entre, d'une part, des caractéristiques des aménagements urbains et, d'autre part, le nombre et la répartition des piétons blessés par un véhicule à moteur.

---

<sup>4</sup> L'approche populationnelle se distingue de l'approche ciblant les individus les plus à risque puisqu'elle porte sur les déterminants - les causes sous-jacentes - de l'incidence d'un problème de santé dans l'ensemble d'une population (Rose, 1985). Par conséquent, elle implique la prise en compte de la distribution des problèmes de santé et de leurs déterminants dans la population (Rose, 1992; Kindig & Stoddart, 2003).

La thèse fait l'objet de trois articles scientifiques, qui sont précédés d'une recension des écrits et d'un modèle conceptuel. Le premier article porte spécifiquement sur le premier volet et a été publié dans le périodique *Injury Prevention*. Les deuxième et troisième objectifs de la thèse font l'objet des deux autres articles, qui visent à quantifier les associations énoncées ci-haut. Le deuxième article prend en considération les variations liées aux territoires administratifs (arrondissements montréalais) et sera soumis au périodique *Accident Analysis and Prevention*. Le troisième article, qui prend en considération les variations liées aux quartiers (secteurs de recensement), permet d'estimer l'ampleur des bénéfices d'une approche populationnelle sur le nombre de piétons blessés ainsi que sur les inégalités observées entre les quartiers d'une même ville. Il sera soumis à la revue *American Journal of Public Health*.

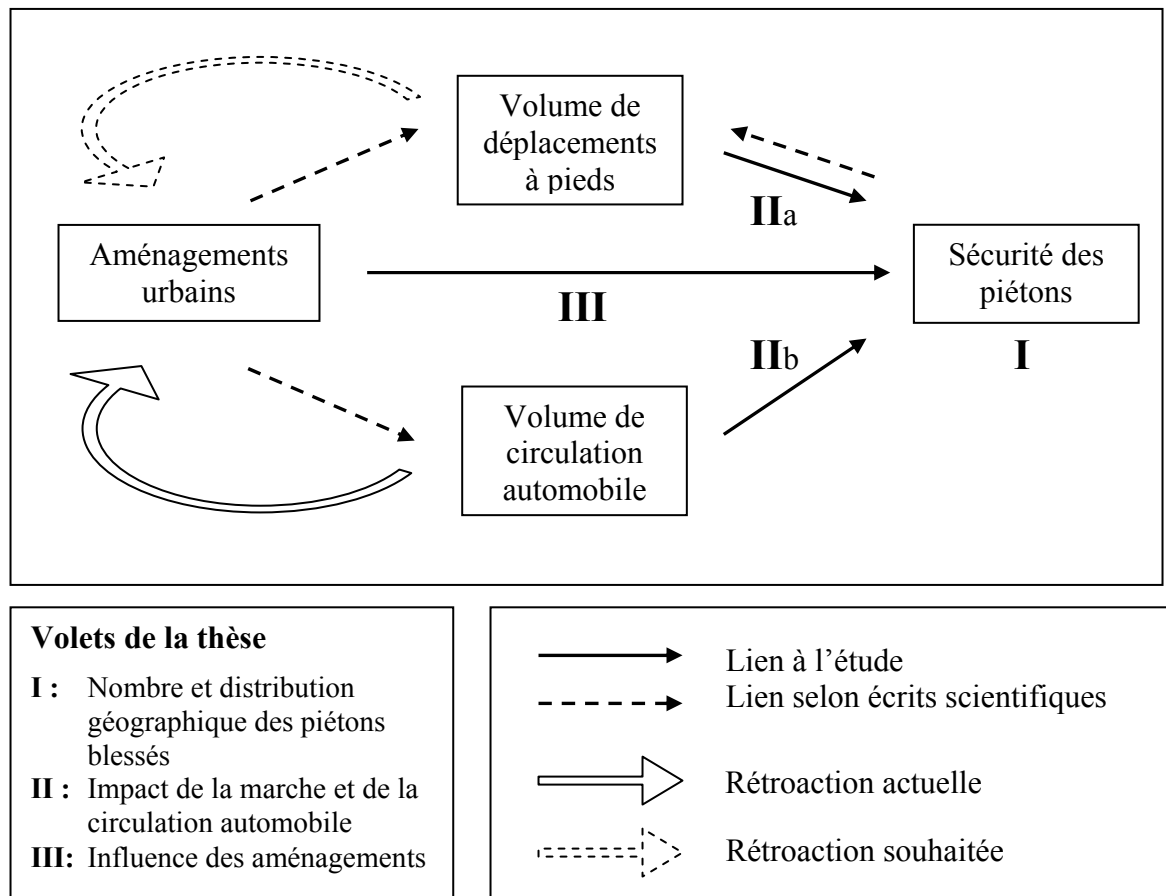
### **Modèle conceptuel, structure et portée de la thèse**

Le modèle conceptuel initial sur lequel repose la thèse a été développé en 2005 (voir Figure 1). Ce modèle propose que la sécurité des piétons est fonction du volume de piétons et du volume de circulation automobile. De plus, le modèle propose que les aménagements urbains influencent à la fois les volumes de piétons, la circulation automobile et la sécurité des piétons. Ainsi, le premier volet de la thèse porte sur la mesure de la variable dépendante de la thèse, soit la sécurité des piétons dans un milieu urbain. Les indicateurs choisis décrivent le nombre de piétons blessés suite à une collision pour lesquels il y a eu une intervention ambulancière ainsi que la localisation des sites de collision. Le deuxième volet vise à quantifier la direction et la taille de l'association entre, d'une part, le nombre et la répartition des piétons blessés suite à une collision et, d'autre part, les volumes de déplacements à pieds (ou pratiques locales de marche) et de circulation automobile. Les pratiques locales de marche reflètent le nombre de personnes exposées au risque de



collision ainsi que leur niveau d'exposition, tandis que le volume de circulation est un indicateur du risque de collision. Le troisième volet porte sur la quantification de l'association entre des caractéristiques des aménagements urbains et le nombre et la répartition des piétons blessés suite à une collision, en tenant compte des volumes de marche et de circulation automobile.

**Figure A. Modèle conceptuel des déterminants environnementaux de la sécurité des piétons qui font l'objet de la thèse (modèle initial, développé en 2005)**



Trois dimensions importantes de la problématique ne sont pas illustrées dans ce modèle conceptuel initial. Premièrement, les facteurs étudiés et leurs effets peuvent se manifester à différentes échelles, telles que l'ensemble d'une région métropolitaine, les municipalités, les arrondissements, les quartiers ou les routes et les intersections. Deuxièmement, les aménagements urbains, les volumes de marche et de circulation

automobile évoluent au cours du temps. Leurs effets et la rétroaction illustrée se déroulent sur des périodes temporelles plus ou moins longues. Troisièmement, le niveau de richesse et sa répartition dans une communauté peuvent être associés à la configuration des aménagements urbains, aux modes de transport utilisés et à la sécurité des piétons dans un quartier. Ces dimensions sont toutefois plus difficiles à illustrer. L'effet des inégalités sociales pourrait sans doute se manifester à tous les niveaux, tandis que seul un schéma en trois dimensions permettrait l'illustration optimale de la dimension temporelle et des différentes échelles.

Le modèle proposé et les études empiriques qui en découlent sont néanmoins novateurs, et ce, pour trois raisons. Premièrement, le modèle intègre à la fois des connaissances liées à la sécurité des piétons et à la pratique de la marche, deux secteurs d'intervention de la santé publique qui sont traditionnellement cloisonnés, voire antagonistes. Deuxièmement, l'analyse porte sur les facteurs environnementaux, plutôt qu'individuels et comportementaux, et est fondée sur une approche populationnelle incluant l'ensemble d'un territoire. Troisièmement, bien que l'objet principal des recherches soit l'explication des déterminants de la sécurité des piétons, il considère les rôles distincts des pratiques locales de marche et du volume de la circulation automobile. De plus, les études permettent de produire une quantification de ces associations. Enfin, le modèle illustre l'utilité potentielle des connaissances émanant de cette thèse. Par son objet, les méthodes utilisées et les résultats, cette thèse contribuera à informer les décideurs responsables des aménagements urbains sur la conséquence de ces décisions pour la sécurité des piétons dans des milieux urbains où l'automobile occupe toujours une place prépondérante. La discussion générale de la thèse met ces perspectives en relief via la présentation d'un modèle conceptuel amélioré.

## CHAPITRE 3 - ÉCRITS SCIENTIFIQUES PERTINENTS

La revue des écrits scientifiques pertinents est structurée en fonction des écrits disponibles, par les enjeux de recherche et par l'objectif général de la thèse. C'est-à-dire, bien que cette thèse fait appel à des connaissances et concepts provenant de différentes disciplines, dont l'urbanisme, l'ingénierie civile et la géographie, ce chapitre couvre spécifiquement les enjeux liés au domaine d'étude dans une perspective de santé publique, soit les limites générales des stratégies de prévention actuelles, le rôle du volume de circulation automobile et du volume de marche, l'influence des aménagements routiers.

### **Notions préalables**

Cette section présente deux notions préalables : la distinction entre les indicateurs mesurant l'ampleur du problème de santé publique que représentent les blessures aux piétons par des véhicules à moteur et les indicateurs mesurant le niveau de risque associé à l'utilisation de l'automobile; la cause première des blessures (ex. : le transfert d'énergie) et la matrice de Haddon.

### ***Ampleur du problème de santé publique versus niveau de risque***

Les taux de collisions, de blessés ou de décès sont souvent exprimés en relation avec le volume d'exposition au risque. Par exemple, les taux de décès par kilomètre parcouru en automobile sont souvent utilisés pour porter un jugement sur la sécurité routière d'un pays ou d'une région (CDC, 1999). Ce type d'indicateur reflète le niveau de risque moyen lorsqu'un automobiliste parcourt un kilomètre. Or, d'un point de vue de santé publique, seuls le nombre absolu de blessés ou de décès ainsi que les taux per capita permettent de connaître l'ampleur du fardeau sanitaire. Par exemple, pour comparer

l'ampleur du problème de sécurité routière entre les grandes villes des Etats-Unis (Mohan, 2008) ou entre les grandes régions du monde (Mohan, 2002), Mohan utilise les taux de décès per capita (Mohan, 2008). Exprimé dans le contexte de la prévention des blessures, le « total harm » est le produit du niveau de risque et du volume d'exposition (Sivak & Tsimhoni, 2008). Cette distinction est importante. En 1999, le CDC considérait la diminution du taux de décès par million de milles parcourus comme l'un des dix grands succès de la santé publique au cours du XX<sup>e</sup> siècle (CDC, 1999). Pour d'autres spécialistes, cet indicateur camoufle un grand échec de la santé publique : l'accroissement phénoménal du nombre de décès de la route (Marwick, 1992; Richter & al., 2001). Cette divergence d'avis reflète l'évolution contraire du risque de décès par kilomètre parcouru et du nombre total de kilomètres parcourus en automobile.

Le même paradoxe peut être observé à l'échelle individuelle. Toutes choses égales par ailleurs, pour un conducteur le risque d'accident par kilomètre parcouru est inversement lié à la distance parcourue annuellement. Néanmoins, la probabilité pour un automobiliste d'être impliqué dans un accident et de réclamer une indemnisation aux compagnies d'assurance augmente avec le nombre d'heures passées à conduire, avec le nombre de kilomètres parcourus (Litman, 2004; Lourens & al., 1999). Par exemple, selon une étude néerlandaise basée sur des enquêtes annuelles et portant sur plus de 50 000 ménages, le nombre d'accidents par conducteur était environ quatre fois plus élevé chez les automobilistes conduisant plus de 50 000 km par an par rapport à ceux conduisant moins de 5 000 km par an (Lourens & al., 1999).

### ***La cause première des blessures et la matrice de Haddon***

Haddon est un des premiers auteurs à mettre en relief l'idée que toute blessure résulte d'abord et avant tout d'un transfert d'énergie aux tissus corporels (Haddon, 1970; Haddon, 1973; Haddon, 1995). Lors d'une collision routière, les dommages résultent donc du transfert de l'énergie cinétique du véhicule aux objets et aux personnes. Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, les dommages augmentent avec la masse et la vitesse du véhicule. Outre le transfert d'énergie et son vecteur, le véhicule motorisé, les autres facteurs impliqués concernent les comportements individuels et l'environnement physique, social et politique (Runyan, 1998; Runyan, 2003). La matrice de Haddon, utilisée par de nombreux professionnels œuvrant dans le domaine de la prévention des blessures, regroupe ces facteurs selon trois grandes catégories de cibles (agent ou vecteur – hôte - environnement) et selon qu'ils agissent avant, pendant ou après la collision (Runyan, 2003).

Aujourd'hui, la matrice de Haddon est un peu victime de son succès, et il faut parfois rappeler aux professionnels qui l'utilisent qu'il ne suffit pas d'inclure des interventions ciblant les trois catégories de cibles pour réduire le nombre de blessures. Par exemple, la matrice de Haddon ne permet pas de distinguer les facteurs qui influencent la distribution des blessures dans une population de ceux affectant les taux d'incidence de blessures (Marmot, 1998; Rose, 1985). De plus, il faut aussi considérer la hiérarchie des cibles d'interventions (Runyan, 1998), ainsi que leur faisabilité, leur coût et leur efficacité (Runyan, 2003).

### **Limites générales des stratégies de prévention actuelles**

Compte tenu de la thématique de la thèse et de son importance éventuelle pour l'intervention, les paragraphes suivant portent sur les lacunes des stratégies préventives

actuelles. La description sommaire des stratégies préventives actuelles et de leurs limites générales permettra de mieux comprendre la pertinence des approches environnementale et populationnelle privilégiées par cette recherche. Cette section se limite aux aspects les plus pertinents à considérer pour réduire le nombre total de piétons blessés en milieu urbain. Les stratégies sont regroupées selon la classification usuelle des cibles d'intervention présentée dans la section précédente : facteurs liés aux véhicules (vecteurs d'énergie), aux comportements individuels et à l'environnement physique et social (Haddon, 1980). L'amélioration des services d'urgences et de traumatologie, une stratégie visant à réduire les conséquences des collisions (Yates, 1998), est aussi brièvement discutée.

### *Améliorations technologiques des véhicules*

Il existe de très grandes variations spatiales des taux de décès per capita de piétons et d'automobilistes entre les grandes villes des Etats-Unis, qui bénéficient pourtant de technologies similaires (Mohan, 2008). Selon Mohan, cela suggère que d'autres facteurs que les améliorations technologiques des véhicules, liés par exemple à la forme urbaine ou au volume d'exposition au risque, expliquent une part importante du bilan routier.

Les améliorations technologiques apportées aux véhicules bénéficient d'abord aux automobilistes et ne protègent pas nécessairement davantage les piétons ou les cyclistes. Certains chercheurs ont même posé l'hypothèse d'un effet paradoxal de certaines innovations sur la sécurité des usagers non motorisée, via une rétroaction négative sur les pratiques de conduite des automobilistes (Reinhardt-Rutland, 2001). De plus, au cours des années 1990, au Québec comme dans le reste de l'Amérique du Nord, la part du parc automobile constituée des camions légers – incluant les camionnettes et les véhicules utilitaires sports (VUS) – a beaucoup augmenté (Drouin & al., 2006; SAAQ, 2004). Or, lors

d'une collision avec un piéton, même à vitesse basse ou moyenne, la probabilité de blessures graves ou de décès est beaucoup plus forte s'il s'agit d'un VUS (Lefler & Gabler, 2004).

### ***Modification du comportement des usagers de la route***

En Amérique du Nord les stratégies de prévention des blessures reliées aux collisions routières donnent souvent la priorité aux mesures ciblant une modification des comportements des usagers de la route. Par exemple, au Canada, l'objectif de réduction du nombre de blessés de la route est ambitieux, mais les stratégies reposent explicitement sur les campagnes de communication et l'éducation, en ciblant l'usage des dispositifs de retenu, la consommation d'alcool et le non respect du code de la sécurité routière (CCATM & Transports Canada, 2004). Au Québec, presque toutes les recommandations récentes d'un comité multidisciplinaire sur la sécurité routière, composé de plusieurs dizaines d'experts et dirigé par le Ministère des Transports du Québec, ciblaient les comportements délinquants par de la sensibilisation, de la surveillance accrue et des sanctions plus sévères (TQSR, 2007). Les mémoires déposés par l'Institut national de la santé publique du Québec dans le cadre de ces travaux ont porté sur l'interdiction de l'usage du cellulaire au volant, la limitation de la limite d'alcool permise dans le sang pour la conduite d'un véhicule et une législation obligeant les cyclistes à porter un casque protecteur.

Depuis plus de vingt ans, de nombreux chercheurs et professionnels de la santé publique remettent en question ce type d'interventions ciblant un seul facteur de risque, comportemental, et suggèrent des stratégies basées sur la promotion de la santé ou l'approche populationnelle (Buck, 1985; Drouin & al., 2007b; Green & al., 1996; Kindig & Stoddart, 2003; Rose, 1985; Woodcock & al., 2009). Certaines critiques théoriques portent

sur l'absence de prise en compte de l'occurrence simultanée des facteurs, de leurs interactions, de leur hiérarchie et des contextes (Krieger, 1994; Susser & Susser, 1996 ; Mohan & al., 2006). Par exemple, la vitesse adoptée par les conducteurs est tributaire de la largeur des routes; la priorité donnée aux piétons varie en fonction du type de passages piétons (Ewing & Dumbaugh, 2009). Ces comportements sont ainsi partiellement déterminés par d'autres facteurs personnels, liés aux véhicules ou à l'environnement. Sivak donne l'exemple d'accidents survenant en plein nuit, liés à la fatigue des conducteurs, qui pourraient être prévenus par des technologies liées aux véhicules (ex. : « road-departure warning system ») ou à l'environnement routier (« rumble strip »), deux mécanismes permettant d'alerter le conducteur lorsque le véhicule sort de sa voie routière et empiète sur une autre voie ou sur l'accotement (Sivak & Tsimhoni, 2008). Selon les modèles écologiques, les programmes visant la modification des comportements devraient aussi viser les pratiques professionnelles, les organisations et les politiques publiques (Green & al., 1996; Richard & al., 2008; Runyan, 2003). La « vision zéro », une politique développée en Suède pour réduire les traumatismes routiers, reconnaît la responsabilité partagée des usagers de la route et des gestionnaires du réseau routier (Fahlquist, 2006). D'autres critiques portent sur l'efficacité relative des stratégies visant l'amélioration des connaissances ou des habiletés personnelles (Haddon, 1974; Haddon, 1980; Roberts et al., 1994) et sur certains effets paradoxaux (ex. : « victim-blaming ») (Fahlquist, 2006).

Ces critiques deviennent d'autant plus pertinentes que des succès notables ont été obtenus par des pays et des villes ayant misé sur la sécurité des environnements routiers, dont les Pays-Bas et l'Allemagne (Pucher & Dijkstra, 2003), le Danemark (Kjemtrup & Herrstedt, 1992), Vancouver (Zein & al., 1997), Londres (Grundy & al., 2009), etc. Selon certains chercheurs, la priorité donnée aux stratégies visant la modification des



comportements au détriment d'autres mesures démontrées efficaces pourrait être liée à l'influence de certaines industries (Mohan & Roberts, 2001; Roberts & al., 2006). Par exemple, selon Mohan, la priorité accordée par la Banque Mondiale aux mesures éducatives pour les piétons pourrait susciter l'implication de compagnies comme Ford et Daimler Chrysler. L'éducation des piétons peut améliorer les connaissances et/ou les compétences des piétons, mais son efficacité pour réduire le risque de collisions et de blessures n'est pas démontrée (Duperrex & al., 2002).

### ***Sécurisation des environnements routiers***

Il est généralement reconnu que les stratégies environnementales constituent la stratégie d'intervention la plus efficace pour réduire les traumatismes, notamment parce qu'elles sont « passives », i.e. qu'elles ne requièrent pas une action spécifique des personnes à risque pour être efficaces, qu'elles tendent à protéger tout le monde, sans égard à l'âge ou la langue parlée, à chaque exposition et pour longtemps (Haddon, 1970; Haddon, 1974; Haddon, 1980; Peek-Asa & Zwerling, 2003). Ainsi, pour réduire le nombre de piétons et cyclistes blessés ou décédés, l'Organisation Mondiale de la Santé cible spécifiquement les politiques gouvernementales liées aux infrastructures routières, à l'aménagement du territoire et au système de transport (Mohan & al., 2006 ; World Health Organization, 2009).

Pour améliorer la sécurité des piétons, de nombreuses mesures environnementales ont été reconnues efficaces, dont le dos d'âne allongé, les saillies de trottoir, l'îlot de déviation, le terre-plein, etc. (Elvik, 2001; Ewing & Dumbaugh, 2009; Jones & al., 2005; King & al., 2003; Leden & al., 2006; Roberts & al., 1994; Zein & al., 1997) et font l'objet de

guides à l'intention des ingénieurs, tant aux États-Unis qu'au Canada (Association des transports du Canada, 2001; Ewing, 1999; Smith & al., 1980).

En Amérique du Nord, l'amélioration de la sécurité des piétons par des stratégies environnementales se heurte à certains obstacles. L'implantation de ces mesures est habituellement subordonnée à la hiérarchie du réseau routier, établie en fonction de la circulation automobile (AIPCR, 2003; Laplante & McCann, 2008). À Montréal, par exemple, l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation n'est actuellement envisagée que sur les rues locales et non sur les routes majeures, les artères (Ville de Montréal, 2007). De plus, les programmes d'amélioration de la sécurité des infrastructures routières sont souvent limités aux sites comptant le plus grand nombre de décès ou de blessés.

### ***L'approche ciblée sur les « black spots »***

L'identification des sites comptant le plus grand nombre de décès ou de blessés, aussi nommés « sites dangereux », « points noirs » ou « black spots » est une stratégie privilégiée par de nombreux gestionnaires de réseau routier, tant en Amérique du Nord qu'en Europe (CCATM & Transports Canada, 2004; Geurts & Wets, 2003; Jacobsen, 2006; TQSR, 2007), et qui est recommandée par les manuels de sécurité routière à l'intention des ingénieurs (AIPCR, 2003; FHWA, 2004). En identifiant les mécanismes de collision les plus fréquents aux « black spots », les ingénieurs peuvent corriger les facteurs impliqués et potentiellement réduire le nombre de collisions, de blessés et de décès aux sites choisis. Des succès ont ainsi été obtenus, par exemple par l'ajout de rond-points ou d'interdictions de virage à gauche (Geurts & Wets, 2003; Meuleners & al, 2008).

La stratégie dite des « black spots » correspond à « l'approche ciblée » ou « high risk preventive strategy » utilisées dans d'autres domaines de la santé publique (Rose, 1985). En théorie, il est plausible que les limites reconnues de cette approche s'appliquent à la stratégie d'identification des « black spots » (Rose, 1985; Drouin & al., 2007b). Notamment, il est généralement reconnu que les stratégies ciblées sur les personnes ayant une probabilité plus élevée de maladie - ex. cholestérolémie ou pression artérielle supérieure d'un certain seuil - ont un potentiel limité pour réduire le nombre total de cas de maladie dans l'ensemble de la population. En effet, ces stratégies ne portent que sur une faible fraction de l'ensemble des individus à risque de développer la maladie et, généralement, sur une faible fraction des cas potentiels de maladie (Rose, 1992). Cette limite s'applique aussi aux nouvelles méthodes identifiant des « corridors » ou des « zones » plutôt que des « sites » ayant une probabilité élevée de collisions (Pulugurtha & al., 2007; Retting & al., 2001), même si elles permettent d'accroître le nombre de sites inclus dans les analyses.

L'analyse des taux de collisions avant et après l'intervention permet d'estimer l'ampleur des bénéfices obtenus par l'approche des « black spots » (Meuleners & al, 2008), mais cette méthode comporte certaines limites (Elvik, 1997). Les bénéfices attribués aux interventions ciblées aux « black spots » peuvent être sur-estimés dans les études qui ne prennent pas en compte le phénomène de régression vers la moyenne. En effet, il y a un biais associé à la sélection des « black spots » qui entraîne une diminution ultérieure des taux moyen de collisions dans cet échantillon, même si l'intervention n'a aucun effet (Danielsson, 1986; Elvik, 1997). Des méthodes statistiques ont été développées pour tenir compte de la régression vers la moyenne, ainsi que de l'évolution temporelle du nombre de collisions, mais elles ne sont pas toujours utilisées (Elvik, 1997; Geurts & Wets, 2003). Des

méthodes statistiques ont aussi été développées pour améliorer la sélection des « black spots » et minimiser les variations liées au choix d'une méthode plutôt qu'une autre (Cheng & al., 2005; Geurts & Wets, 2003; Geurts & al., 2005; Miaou & Song, 2005; Montella, 2010; Pulugurtha & al., 2007). Les seuils délimitant les « black spots » des autres sites restent en partie arbitraires ; des considérations pragmatiques liées aux ressources financières disponibles pour la réfection routière peuvent influencer le nombre de sites retenus.

Enfin, d'un point de vue de santé publique, une autre limite est liée à la méthode habituelle d'identification des « black spots ». L'identification des sites peut simplement se baser sur le nombre absolu de décès ou de blessés au cours d'une période, mais les manuels de sécurité routière à l'intention des ingénieurs recommandent d'ajuster pour le volume de circulation automobile (AIPCR, 2003; FHWA, 2004). Ainsi, un site sera considéré problématique si le nombre de blessés est supérieur aux autres sites ayant le même volume de trafic. Pourtant, tel que discuté dans une autre section de cette thèse, le volume de trafic est en soi l'une des principales cause du nombre de piétons blessés.

### ***Amélioration des services d'urgences et de traumatologie***

L'amélioration des services d'urgences et de traumatologie peut contribuer à diminuer la sévérité des séquelles d'une collision. Au cours des années 1990, cette stratégie a énormément contribué à la réduction du nombre de décès liés aux blessures sévères (Liberma & al., 2004; Yates, 1998). Au Québec, l'implantation du réseau de traumatologie a été associée à une forte diminution de la létalité qui, à sévérité de blessures équivalente, est passée de 52% à 9% en 13 ans (Liberma & al., 2004). Il faut cependant

noter que, puisque cette stratégie intervient après la survenue d'une collision, elle ne prévient pas le traumatisme mais en réduit les conséquences.

### **Circulation automobile et nombre total de décès et de blessés**

Cette section présente d'abord, d'une manière générale, l'évolution des volumes de trafic dans les pays industrialisés. Ensuite, quelques études liant le volume global de circulation automobile au nombre total de décès et de blessés de la route dans une population sont présentées. Ces études ont été choisies parce qu'elles illustrent clairement le concept d'exposition au risque (Chapman, 1973; Adams, 1987) ainsi que l'association entre l'exposition au risque et la probabilité de collisions et de blessures (Massie & al, 1995; Fridström & al., 1995; Ewing & Dumbaugh, 2009; FHWA, 2004) ou parce qu'elles décrivent des tendances éloquentes (Winston & al., 1999; Kopits & Cropper, 2005) ou très récentes (Sivak, 2009).

Dans les pays industrialisés, l'augmentation du volume de trafic au cours des dernières décennies a été considérable. Entre 1983 et 1990, aux États-Unis, la distance parcourue en automobile s'est accrue de 41 % (Massie & al., 1995). Au Québec, de 1973 à 1998, la distance totale parcourue est passée de 34 à 81 milliards de kilomètres (Ministère des transports du Québec, 2001). Dans la grande région montréalaise, le nombre moyen de déplacements motorisés effectués chaque matin en période de pointe s'est accru de 54 000 entre 1998 et 2003 (Agence métropolitaine du transport, 2005). Au cours de cette période, la croissance du parc de véhicule (+11 %) a été plus de trois fois plus élevée que la croissance de la population (+3 %) (Drouin & al, 2007b). Cette tendance séculaire s'est récemment inversée aux États-Unis, où une diminution du nombre total de kilomètres parcourus en automobile est observée chaque année depuis 2007 (FHWA, 2010).

Par ailleurs, le volume de trafic est un indicateur du degré d'exposition au risque d'accident, "*the amount of opportunity for accidents*" (Chapman, 1973). Tel qu'énoncé par Smeed : "*Other things being equal, the number of single-vehicle accidents ought to increase in proportion to the number of vehicles*" (Adams, 1987). Selon cette perspective, la croissance des déplacements motorisés est le premier facteur explicatif de l'épidémie de blessés de la route apparue au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Au Québec, la motorisation croissante de la société s'est reflétée dans le bilan routier, qui a grimpé en flèche à partir des années 50 (Bourbeau, 1983; Drouin & al., 2006). Encore aujourd'hui, l'augmentation des déplacements en période de prospérité économique peut être associée à une augmentation des blessés de la route, ce qui a été illustré de manière exceptionnelle en Allemagne de l'est où les taux de décès de la route ont été multipliés par quatre entre 1989 et 1991 (Winston & al., 1999). Aux États-Unis, la réduction récente des volumes de circulation automobile, liée à la crise économique, a été associée à une forte diminution du nombre total de décès de la route (Sivak, 2009).

Dès le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, la relation entre le volume de trafic et le nombre de décès de la route a été modélisée par Smeed (Adams, 1987). En se basant sur les données de 20 pays différents au cours d'une année (1938), ses analyses démontrent que le nombre de véhicules est un déterminant majeur des taux de décès de la route par véhicule et, par conséquent, des taux de décès per capita ou du nombre de décès de la route. Cette relation mathématique, connue sous le nom de Smeed's Law, s'applique aux données plus récentes et est aussi utile pour décrire l'évolution du taux et du nombre de décès de la route au cours du temps (Adams, 1987). Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, l'augmentation du nombre total de décès de la route aux États-Unis a suivi les fluctuations du volume de trafic, avec des

ralentissements durant la dépression des années 30, la deuxième guerre mondiale et la crise du pétrole des années 1970 (Adams, 1987). Les taux moyens d'accidents, de blessés ou de décès par kilomètre parcouru varient au cours du temps et selon la région mais, à titre d'exemple, pour chaque 100 millions de milles parcourus aux États-Unis en 1990, il y avait en moyenne 3 accidents avec au moins un décès et 200 accidents avec au moins un blessé (Massie & al., 1995). Dans les pays riches, la réduction des taux de décès par véhicule ou par kilomètre parcouru peut compenser pour l'augmentation de l'usage de l'automobile. Selon une étude écologique portant sur 88 pays, l'évolution des taux de décès d'usagers de la route per capita, de 1963 à 1999, ont décliné lorsqu'un certain niveau de richesse a été atteint (Kopits & Cropper, 2005).

À défaut de mesurer précisément le volume de déplacements des véhicules motorisés, une étude scandinave a mesuré le volume des ventes d'essence sur une période d'une dizaine d'années et le nombre d'accidents; les résultats démontrent que le nombre total d'accidents avec au moins un blessé a varié proportionnellement à la quantité d'essence vendue dans chacune des provinces des quatre pays étudiés (Fridström & al., 1995). Aux États-Unis, la relation entre le taux per capita de décès de la route et le taux per capita de kilomètres parcourus en automobiles dans une ville est quasi-linéaire, tant en milieu rural qu'en milieu urbain (Ewing & Dumbaugh, 2009; Litman & Fitztoy, 2009). Aux intersections, la relation entre le volume de trafic et le nombre de blessés est habituellement modélisée par une fonction mathématique de forme logarithmique, nommée « safety performance function » (FHWA, 2004).

### **Circulation automobile et nombre de piétons blessés**

Cette section porte sur le risque posé aux piétons par le volume de circulation motorisée sur le réseau routier. Le rôle du volume de véhicules en circulation dans l'épidémiologie des collisions impliquant un piéton a été documenté par de nombreuses études, tant à l'échelle individuelle que pour l'ensemble d'une population.

Si on exclut les blessures liées aux chutes, le piétons est principalement à risque de blessures lorsqu'il traverse la chaussée (Julien & Carré, 2002; Lassarre & al., 2007). Lors d'une traversée de chaussée, à moins d'aménagements particuliers, le piéton est potentiellement confronté aux véhicules motorisés en mouvement. Le cas échéant, les piétons doivent juger du moment le plus approprié et « trouver » un espace sans véhicules en mouvement. En théorie, les opportunités pour traverser diminuent lorsque le débit de véhicules augmente, ce qui accroît la probabilité d'être victime d'une collision (Lassarre & al., 2007).

#### ***Évolutions temporelles***

En Nouvelle-Zélande, de 1967 à 1987, l'évolution réelle du taux de décès de jeunes piétons (/ 100 000 enfants) a suivi l'évolution des taux prédits par un modèle de régression de Poisson ayant pour seules variables explicatives l'année et le volume de trafic (Roberts & al., 1992). Dans cette étude, une diminution des taux de décès de jeunes piétons a été observée à la fin des années 70, une période correspondant au choc pétrolier et durant laquelle le prix de l'essence a quadruplé en Nouvelle-Zélande. Ces résultats ont été constatés ailleurs, par d'autres méthodes. Aux États-Unis, l'analyse par la méthode des séries chronologiques (« time series ») a démontré que les variations annuelles du taux de décès de jeunes piétons (/ 100 000 enfants) entre 1970 et 1988 a suivi l'évolution du



nombre total de kilomètres parcourus en automobile dans le pays (Roberts & al., 1995a). Ces études démontrent que les volumes de circulation automobile n'augmentent pas seulement le risque individuel de blessures : le volume global de circulation automobile semble être un important déterminant du taux de décès de jeunes piétons dans une population. Cependant, elles portent exclusivement sur les décès de jeunes piétons, qui ne représentent qu'une fraction de l'ensemble des piétons décédés et une fraction encore plus mince de l'ensemble des piétons blessés suite à une collision.

### *Études de type cas-témoin*

Par exemple, selon une étude de type cas-témoin réalisée en Nouvelle-Zélande, le risque pour un jeune piéton d'être blessé par une voiture est 13 fois plus élevé sur les rues ayant un débit égal ou supérieur à 750 véhicules par heures par rapport aux rues sur lesquelles il y a moins de 250 véhicules par heure, même en tenant compte des vitesses différentes (Roberts & al., 1995b). Une autre étude cas-témoin a estimé que le risque pour un jeune piéton d'être blessé doublait (OR=2.16) avec chaque augmentation du débit de circulation de 100 véhicules/heure, mais, paradoxalement, dans cette étude l'effet estimé d'une augmentation du débit de véhicules s'inversait aux endroits où une majorité de véhicules excédaient la vitesse affichée (Stevenson & al., 1995). Ces études de type cas-témoin permettent de quantifier le risque individuel associé à l'exposition au trafic, mais elles ne peuvent décrire l'ampleur du problème des piétons blessés dans une ville ni décrire la distribution spatiale du trafic et de ses effets.

### *Études aux intersections*

Aux intersections, la relation entre le nombre de piétons blessés et le volume de trafic a été modélisée par plusieurs études limitées aux sites pour lesquels des comptages de

véhicules étaient disponibles. Cette relation varie en fonction du volume de piétons et de la géométrie<sup>5</sup> des intersections, mais, d'une manière générale, le nombre moyen de piétons blessés est proportionnel à la racine carrée des volumes de circulation automobiles aux intersections (Garder, 2004; Lyon & Persaud, 2002; Lee & Abdel-Aty, 2005). Contrairement aux études précédemment citées, celles-ci ne se limitent pas aux enfants. Elles démontrent le lien direct entre les volumes de trafic et le nombre de piétons, mais elles sont limitées à des échantillons arbitraires d'intersections.

### *Études écologiques*

Plusieurs études écologiques ont porté sur les facteurs environnementaux liés aux piétons blessés en milieu urbain. L'une de ces études porte sur la distribution spatiale et temporelle, sur 24 heures, des densités de trafic et du taux d'incidence de jeunes piétons blessés à Edmonton, au Canada (Yiannakoulis & al., 2002). Bien que son objectif soit pertinent, l'analyse est limitée par l'utilisation des lieux de résidence des personnes blessées, plutôt que des lieux de collision. Les corrélations observées entre les densités de trafic et les taux d'incidence de jeunes piétons blessés sont plutôt modérées ( $r=0.38$ ). Faute d'estimés des volumes de trafic, plusieurs études écologiques utilisent des indicateurs indirects tels que la densité d'artères ou d'emplois (Graham & al., 2003; Joly & al., 1991b). Selon l'une de ces études, utilisant l'analyse factorielle, la contribution des volumes de trafic – mesurés indirectement – est plutôt secondaire par rapport aux variables démographiques ou à la densité de population (Joly & al., 1991b). Lorsque l'analyse inclut une mesure des volumes de trafic, cet indicateur est toujours significativement associé au nombre de piétons blessés (Lascaia & al., 2004; Wier & al., 2009).

---

<sup>5</sup> Dans cette thèse, le terme « géométrie » est utilisé pour décrire d'une manière générale la forme et la configuration des routes et des intersections, incluant par exemple la largeur de la chaussée, le rayon de courbure d'un coin de rue, le nombre d'approches à une intersection.

Il est à noter que ces études écologiques sont rarement basées sur un modèle théorique explicite. Même lorsqu'un cadre théorique est présenté (Wier & al., 2009), les analyses incluent simultanément de nombreux facteurs environnementaux, tant proximaux (volume de trafic) que distaux (densité d'habitation, niveau socio-économique). Or, de telles analyses multivariées peuvent entraîner une sous-estimation de l'effet des facteurs environnementaux situés sur le même chemin causal (Victora & al., 1997).

### **Pratiques locales de marche et exposition au risque de collision**

Comme pour les automobilistes, l'exposition des piétons au risque de collision peut se mesurer par le nombre de déplacements, la durée des déplacements ou le nombre total de kilomètres parcourus (Jonah & Engel, 1983). Pour les piétons, cependant, il n'y a un risque de collision que si l'espace est partagé avec l'automobile ou si le lieu du déplacement à pieds rend possible l'interaction avec un automobile. Selon une enquête française originale, dans laquelle l'enquêteur accompagne des piétons durant leurs déplacements, les piétons d'Île-de-France sont exposés au risque de collision durant 3 min 34 sec. par jour, soit 10 % du total de la marche (Julien & Carré, 2002). La marche sur la chaussée lors des traversées représenterait moins de 4 % des distances parcourues à pieds chaque jour (30m / 825m) (Julien & Carré, 2002). Pour les piétons, les mesures de l'exposition au risque de collision comprennent donc aussi le nombre d'intersections ou de rues traversées (Jonah & Engel, 1983; Keall, 1995; Lee & Abdel-Aty, 2005; Macpherson & al., 1998; Posner & al., 2002; Rao & al., 1997) ou, selon une autre méthode, le nombre de piétons comptés aux intersections (Garder, 2004; Leden, 2002).

### *Mesure des déplacements à pieds*

Différents types d'études décrivent la mobilité ou la répartition des déplacements selon le moyen de transport utilisé : enquêtes téléphoniques ou en face-à-face portant sur le degré d'activité physique ou la pratique de la marche dans population générale (Ewing & al., 2003); enquêtes origine-destination (« enquêtes O-D ») (AMT, 2005), effectuées à l'échelle d'une agglomération urbaine; études mesurant les déplacements par un journal quotidien (Rao & al., 1997; Roberts & al., 1997); comptages (Garder, 2004), etc. Les déplacements pour se rendre au travail peuvent aussi être sommairement décrits par les informations contenues dans les recensement (Jacobsen, 2003; Kuhlman & al., 2009; Wier & al., 2009). Ces méthodes ont toutes déjà été utilisées pour décrire l'exposition des piétons au risque de collision automobile.

Les recensements procurent des indicateurs indirects des volumes de marche dans les quartiers, les villes et les pays, via les densités de population ou les modes de transports utilisés pour se rendre au travail (Jacobsen, 2003; Kuhlman & al., 2009; Wier & al., 2009). Le recensement canadien comprend aussi de l'information supplémentaire sur les lieux de domicile et de travail. Les enquêtes décrivant le niveau d'activité physique de la population générale peuvent décrire la durée et l'intensité de la marche ainsi que le motif (ex. : loisirs, utilitaire) (Statistics Canada, 2002), mais elles ne s'attardent pas, sauf exception, à décrire l'origine ou la destination du déplacement, ni le trajet emprunté. Ces deux sources d'information ne permettent pas de connaître les itinéraires choisis, ni de distinguer la marche effectuée sur le réseau routier de la marche dans un parc ou ailleurs.

Les comptages aux intersections sont habituellement limités par un échantillonnage non-représentatif ou une sélection de sites limitée aux endroits problématiques (Garder,

2004; Lyon & Persaud, 2002). Les enquêtes Origine-Destination portent sur l'ensemble d'une région métropolitaine et mesurent les déplacements effectués au cours d'une journée de la semaine : origine, destination, motif, mode de transport, période de la journée, etc. (2007). Toutefois, ces enquêtes servent d'abord à estimer l'ampleur et l'évolution des déplacements motorisés, en automobile ou en transport en commun. Elles permettent aussi de décrire les déplacements non motorisés, effectués à pieds ou à vélo (Chapleau, 2004; Chapleau & Lavigueur, 1994), mais avec certaines limites : les trajets empruntés ne sont pas nécessairement validés lors de l'entrevue, elles ne renseignent pas sur les habitudes de fin de semaine, où d'autres motifs que le travail et les études dominent (ex. : loisirs, magasinage, vie sociale), l'évolution saisonnière de la pratique de la marche ou du cyclisme n'est pas toujours prise en compte. Lors de l'analyse, souvent seuls les déplacements effectués complètement à pieds sont considérés comme des déplacements à pieds, ce qui exclut la marche effectuée en combinaison avec un autre mode de transport. Enfin, la validité de l'affectation des déplacements à pieds sur le réseau routier est limitée par le fait que les piétons empruntent aussi d'autres trajets (Chin & al., 2008).

En résumé, de nombreuses sources d'information permettent de connaître les volumes de marches ou de piétons. Cependant, aucune d'entre elles ne permet de cartographier précisément les itinéraires pour l'ensemble d'une population, ni d'estimer les volumes de piétons pour l'ensemble d'un réseau routier. Il s'agit d'un domaine de recherche actuellement en développement.

### ***Facteurs liés au volume d'exposition au risque de collision***

Cette section ne vise pas à décrire la prévalence, les variations spatiales et temporelles ou les déterminants de la marche. Elle décrit sommairement les recherches

mesurant les volumes de marche en tant que volume d'exposition au risque de collision chez les piétons. Les principaux facteurs pris en compte par ces études ont été la variation des volumes de marche au cours du temps, ainsi que selon le lieu, l'âge, et la position socio-économique.

Au cours des dernières décennies, le volume de marche a beaucoup diminué dans plusieurs pays industrialisés. Sur une période de 40 ans, aux États-Unis, la proportion d'enfants se rendant à l'école à pieds ou à vélo est passée d'un enfant sur deux (1969) à environ un enfant sur six (15 % en 2004) (CDC, 2005). Sur une plus courte période, en Angleterre, de 1985 à 1992 la distance moyenne marchée par les enfants de 0 à 14 ans a diminué de 20 %, passant de 398 km par an à 319 km par an (DiGuseppi & al., 1997). Pour les adolescents de 15 à 19 ans, elle a diminué de 24 %, passant de 624 km à 472 km par an (DiGuseppi & al., 1998).

L'usage de la marche varie énormément d'un pays à l'autre, d'une ville à l'autre (Jacobsen, 2003; Pucher & Dijkstra, 2003). Au Canada, la part modale de la marche est deux à trois fois plus faible que dans certains pays européens (Pucher & Dijkstra, 2003). Une enquête se déroulant dans six grandes villes de cinq pays industrialisés différents rapporte que, selon la ville, de 31 % à 55 % (48 % à Montréal) des enfants marchent pour se rendre à l'école et qu'entre 24 % et 55 % (34 % à Montréal) des enfants marchent globalement plus de 15 minutes par jour (Roberts & al., 1997). À Montréal, les enfants traversent en moyenne plus de rues chaque jour que dans d'autres villes (Perth : 2.3; Auckland : 2.5; Melbourne : 3.6 ; Baltimore : 3.9; Umea : 4.1 ; Montréal : 5.1).

Au sein d'une région urbaine, la possession et l'usage d'une voiture sont moins fréquents chez les résidants des quartiers les plus densément peuplés (Cervero & Kockelman, 1997; Stead & Marshall, 2001). La densité d'habitants dans un quartier, souvent associée à une plus grande mixité de fonctions et à une proximité des commerces de détails, favorise l'usage de la marche (Cervero & Kockelman, 1997; Gauvin & al., 2008). Sur l'île de Montréal, par exemple, la proportion des résidants se rendant à pieds à leur lieu habituel de travail varie de 1 % en périphérie à 41 % au centre-ville (Drouin & al., 2006). Selon une étude montréalaise, les piétons recrutés au centre-ville marchent plus longtemps, sur une plus longue distance et traversent davantage d'intersections que les piétons recrutés en périphérie (Thouez & al., 2005). À Nottingham en Angleterre, en plus de croiser davantage de rues, les enfants des quartiers centraux sont exposés à un plus grand nombre d'automobiles par rapport aux jeunes habitant les banlieues (Routledge & al., 1996).

Dans les pays industrialisés, les jeunes marchent davantage que les adultes. Par exemple, à Montréal, les jeunes de 5 à 14 ans représentaient 13 % de la population en 1987 mais effectuaient 44 % des déplacements à pieds (Chapleau & Lavigueur, 1994). Les adolescents et les jeunes adultes effectuent davantage de déplacements à pieds, marchent plus longtemps, sur une plus longue distance et traversent davantage d'intersections chaque jour (Jonah & Engel, 1983; Keall, 1995; Routledge & al., 1996). Chez les jeunes enfants, le nombre de rues traversées et l'exposition au trafic augmentent beaucoup entre l'âge de 5 à 10 ans (Routledge & al., 1996).

## **Volumes de marche ou de piétons et nombre de piétons blessés**

Traditionnellement, les études effectuées en santé publique portant sur les piétons victimes d'une collision automobile ne prenaient pas en compte la quantité de déplacements à pieds (Allard, 1982 ; Braddock & al., 1994; Dougherty & al., 1990). Initiée au cours des années 1970, la mesure des déplacements à pieds a surtout eu pour objectif d'expliquer l'excès de piétons blessés observé chez les enfants et de distinguer la part attribuable à l'exposition au risque de celle attribuable aux capacités ou aux comportements des enfants (Routledge & al., 1996). Ces études ainsi que d'autres plus récentes soulèvent l'hypothèse d'un impact considérable du volume de marche sur le risque individuel de collision et sur le nombre total de piétons blessés.

### ***Variation selon l'âge des piétons***

Les taux de piétons blessés per capita selon le groupe d'âge varient en fonction des volumes d'exposition au risque de collision et du risque de collision et de blessures, deux facteurs liés au groupe d'âge (Lee & Abdel-Aty, 2005). L'absence de prise en compte de la variation de la quantité de marche selon l'âge biaise l'estimation du risque de blessures associé à la marche chez les personnes âgées et les enfants. Deux études ayant mesuré les déplacements à pieds (durée, nombre d'intersections croisées) rapportent que le risque chez les personnes très âgées est plus élevé que celui estimé par les taux de blessés per capita (Keall, 1995 ; Lee & Abdel-Aty, 2005). D'autres études rapportent que le risque chez les enfants est différent de celui estimé par les taux de piétons blessés per capita, ce risque estimé de blessures par kilomètre marché ou par intersection croisée serait plus ou moins élevé selon le volume de marche estimé chez les enfants (Jonah & Engel, 1983; Keall, 1995). Chez les jeunes enfants, le nombre de rues traversées et l'exposition au trafic augmentent beaucoup entre l'âge de 5 et 10 ans. Par conséquent, les taux d'accidents



populationnels sous-estiment le risque d'accident chez les plus jeunes, puisque le risque par rue croisée, ou pour chaque interaction avec une automobile, diminue à partir d'environ 8 ans (Routledge & al., 1996).

### *Évolutions temporelles*

L'évolution du volume de marche au cours des dernières décennies explique en partie celle du nombre de piétons blessés ou tués. En Angleterre, il a été estimé qu'une bonne partie de la diminution du nombre annuel de jeunes piétons tués serait attribuable à une réduction de la marche : entre 1985 et 1992, les taux de décès per capita ont respectivement diminués de 37 % et de 49 % pour les enfants de 0 à 14 ans et les adolescents de 15 à 19 ans, mais les distances moyennes marchées ont respectivement diminué de 20 % et de 24 % dans les deux groupes d'âge (DiGuseppi & al., 1997; DiGuseppi & al., 1998; Roberts, 1993). En France, de 1980 à 2000, le nombre de piétons tués a diminué d'un tiers, une évolution similaire à celle de la part de la marche dans les déplacements quotidiens (Julien & Carré, 2002).

Le rôle du volume d'exposition au risque dans l'évolution du nombre de blessés a aussi été décrit pour les cyclistes. En Suède, une amélioration des aménagements pour cyclistes a engendré une augmentation de 50 % du flot de cyclistes et une réduction du risque de blessures d'environ 24 % pour chaque cycliste, par contre, le nombre total de cyclistes ayant augmenté, le nombre total de blessés s'est accru d'environ 14 % [ $1,5 \times (1 - 0,24)$ ] (Leden & al., 2000). À l'inverse, en Australie, une législation sur le port obligatoire du casque a été suivie d'une diminution du nombre total de cyclistes blessés qui a été attribuée à la diminution de la pratique du vélo plutôt qu'au port du casque (Robinson, 2005). Une enquête auprès d'experts internationaux a confirmé une certaine confusion sur

la relation entre le volume de cyclisme et le risque de collision, puisque certains experts croient que le risque diminue lorsque le cyclisme augmente alors que d'autres experts croient l'inverse (Leden & al., 2000).

### *Variations spatiales*

L'influence des pratiques locales de marche sur le nombre de piétons blessés aux intersections est documentée et quantifiée depuis plus de vingt ans (Jonah & Engel, 1983). Néanmoins, jusqu'à récemment, la quasi-totalité des études décrivant la distribution géographique des piétons blessés suite à une collision ne prenaient pas en compte les volumes de marche ou de piétons (Allard, 1982; Braddock & al., 1994; Dougherty & al., 1990; Lightstone & al., 2001) Par exemple, des auteurs rapportaient des taux de piétons blessés per capita plus élevés au centre-ville ou dans les quartiers pauvres sans décrire le rôle des pratiques locales de marche (Allard, 1982; Dougherty & al., 1990). Depuis quelques années, ce facteur est plus systématiquement pris en compte dans les études écologiques (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Graham & Glaister, 2003; Jacobsen, 2003; Lascala & al., 2000; Lascala & al., 2004; Sebert Kuhlmann & al., 2009; Wier & al., 2009).

Aux intersections, les modèles mathématiques développés pour prédire le nombre moyen de piétons blessés incluent d'abord les volumes de circulation automobile (Garder, 2004; Lee & Abdel-Aty, 2005), mais la prise en compte des volumes de piétons améliore significativement la valeur prédictive des modèles (Lyon & Persaud, 2002).

Les recherches écologiques récentes incluent explicitement le volume de marche dans un quartier, une ville ou un pays parmi les facteurs expliquant le nombre de piétons blessés. Des indicateurs indirects des volumes de marche sont généralement utilisés, tels

que la taille ou la densité de population, la proportion de travailleurs qui marchent pour se rendre au travail, le nombre d'enfants inscrits dans une école, la proportion de chômeurs dans un secteur (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Graham & Glaister, 2003; Jacobsen, 2003; Lascala & al., 2000; Lascala & al., 2004; Sebert Kuhlmann & al., 2009; Wier & al., 2009). Dans toutes ces études, au moins l'un de ces indicateurs est significativement associé au nombre ou au taux de piétons blessés.

Une étude originale réalisée en Île-de-France prend en compte la durée moyenne de marche sur la chaussée, mais l'analyse porte spécifiquement sur le risque de blessure plutôt que sur le nombre total de piétons tués ou blessés. Selon les résultats de cette étude, le risque pour un piéton d'être impliqué dans une collision avec un véhicule est respectivement 1,3 et 2,1 fois plus élevé au centre de Paris qu'en petite couronne et en grande couronne (Julien & Carré, 2002). Par contre, le risque d'être tué - qui serait surtout lié à la vitesse du véhicule - est deux fois plus élevé dans la grande couronne. Les estimations fondées sur cette recherche sont cependant biaisées par l'échantillonnage non représentatif d'une centaine de participants, parmi lesquels les utilisateurs de voiture sont sous-représentés. Ce biais tend à surestimer le volume de marche dans les couronnes, ce qui pourrait expliquer l'augmentation observée du risque de blessures au centre de Paris par rapport aux couronnes.

Parmi les études explorant le risque de blessures chez les jeunes piétons, seulement quelques-unes décrivent les variations spatiales de l'exposition au risque de collision. Par exemple, à Montréal, les taux de jeunes piétons victimes d'une collision dans les 23 districts policiers sont corrélés au nombre de rues croisées sur le trajet entre le domicile et l'école (Macpherson & al., 1998). De même, à Baltimore, les secteurs de la ville où les

enfants marchent le plus et croisent le plus grand nombre de rues dans une journée ont les taux de piétons blessés les plus élevés (Rao & al., 1997). Les résultats de cette étude démontrent que les taux de jeunes piétons blessés sont les plus élevés dans les quartiers où la possession d'une automobile est la plus faible, un indicateur (« proxy ») indirect du volume de marche des résidents d'un quartier.

### ***Atténuation du risque individuel aux endroits où il y a davantage de marche***

Tel que présenté ci-haut, des modèles mathématiques ont été développés pour quantifier l'influence des volumes de marche sur le nombre de piétons blessés. Ces modèles permettent aussi de quantifier le risque de blessure individuel, pour chaque piéton ou pour chaque kilomètre marché. Plusieurs études ont démontré que le risque individuel diminue lorsque les volumes de marche ou de piétons augmentent, un concept connu par l'expression « Safety in numbers ». En effet, le risque de blessures pour chaque piéton est moins élevé aux endroits où il y a davantage de marche ou de piétons, un phénomène observé aux intersections, mais aussi à l'échelle des villes et des pays (Jacobsen, 2003; Leden, 2002; Robinson, 2005).

Par exemple, à Hamilton en Ontario, le risque pour un piéton d'être victime d'une collision aux intersections à haut débit de voitures (150-500 véhicules par heure) est deux fois moins élevé lorsqu'il y a entre 50 et 300 piétons par heure que lorsqu'il n'y a que 1 à 25 piétons par heure (Leden, 2002). Parmi les villes de Californie, le risque individuel est 34 %<sup>6</sup> plus faible dans les villes où la proportion de travailleurs marchant pour se rendre au travail est deux fois plus élevée (Jacobsen, 2003). D'un point de vue de santé publique, ce

---

<sup>6</sup> Selon Jacobsen,  $I = E^x$  où  $I =$  Blessures ;  $E =$  Exposition ;  $x =$  paramètre empirique [ $x=0.36$  pour 47 villes du Danemark ;  $x=0.41$  pour 68 villes de Californie].

phénomène de « Safety in numbers » ne doit pas occulter le fait que, toutes choses égales par ailleurs, lorsque le volume de marche estimé double, le nombre de blessés augmente. Par exemple, toujours parmi les villes de Californie, selon l'équation produite par Jacobsen le nombre de piétons serait de 33 % plus élevé lorsque la proportion de travailleurs utilisant la marche pour se rendre au travail est doublée.

Pour expliquer le phénomène de « Safety in numbers », plusieurs auteurs émettent l'hypothèse d'une adaptation du comportement des conducteurs en fonction de la quantité de piétons, mais d'autres mécanismes pourraient être impliqués. Par exemple, puisqu'en théorie le niveau de sécurité influence le choix de marcher ou non (Pikora & al., 2003), la qualité des aménagements routiers et des infrastructures dédiées aux piétons (ex. : traverses piétonnes) pourrait expliquer l'association observée entre le risque de blessures et le volume de marche. L'utilisation d'un devis de recherche transversal ne permet pas de savoir lequel des deux facteurs étudiés (volume de marche et risque de blessures) précède l'autre.

## **Géométrie du réseau routier**

### ***Types de route***

#### *Hiérarchie fonctionnelle du réseau routier*

La classification fonctionnelle du réseau routier distingue habituellement les artères, dont la fonction principale est la mobilité sur de plus grandes distances, et les rues locales qui permettent l'accès, l'échange entre la route et les terrains, les domiciles ou les commerces adjacents (Association mondiale de la route, 2003). Par définition, les artères comptent davantage de voies et sont en général plus larges. Certaines grandes villes, dont Montréal, divisent les artères en artères principales et secondaires (Lightstone & al., 2001).

Les collectrices assurent une fonction intermédiaire entre les rues locales et les artères (Association mondiale de la route, 2003).

### *Hiérarchie fonctionnelle et volume de circulation*

La hiérarchie du réseau implique qu'un plus grand débit de voiture circule sur les artères que sur les rues locales. Aux États-Unis, de 1997 à 2006, plus de la moitié des piétons décédés en milieu urbain ont été victimes d'une collision sur une artère (National Highway Traffic Safety Administration, 2008b). À Long Beach en Californie, seulement 34 % des piétons blessés ont subi une collision sur une rue locale alors que celles-ci représentent 78 % du réseau routier (Lightstone & al., 2001). À Montréal, selon une étude datant des années 80, les « zones à haut risque » - définies par leur taux d'incidence de jeunes piétons blessés - sont des secteurs où les artères ont un flux de circulation moyen plus élevé (Joly & al., 1991a). Plus récemment, à Vancouver en Colombie Britannique, l'analyse de la répartition des piétons blessés révèle que 31 des 32 « hot spots » sont situés sur des rues majeures, collectrices ou artères (Schuurman & al., 2009). Dans toutes ces études, la sur-représentation des artères pourrait être entièrement attribuable aux volumes de trafic plus élevé sur ce type de routes.

### *Aménagements des artères augmentant le risque de collision*

En plus des débits de circulation plus élevés, les artères sont aménagées différemment des collectrices et des rues locales. Elles peuvent compter davantage de voies de circulation et les chaussées sont généralement plus larges, toutes deux des caractéristiques fortement associées à la vitesse des véhicules (Ewing & Dumbaugh, 2009). Lors de la conception des intersections, le rayon de courbure appliqué aux coins de trottoirs est plus long, ce qui facilite le virage des véhicules à plus grande vitesse mais rallonge les

passages pour piétons (AIPCR, 2003). Au Maine (USA), une étude portant sur 122 traverses piétonnes (70 à l'intersection et 52 hors intersection) rapporte que les taux de piétons blessés sont significativement plus élevés sur les routes plus larges, en tenant compte des volumes de trafic et de piétons (Garder, 2004). Récemment, des études écologiques rapportent des effets indépendants de la proportion d'artères et du volume estimé de trafic dans un quartier sur le nombre total de blessés (Dumbaugh & Rae, 2009; Lovegrove & Sayed, 2009) ou sur le nombre de piétons blessés (Wier & al., 2009).

### *Risque posé par les artères urbaines*

En Amérique du Nord, dans les développements urbains et périurbains de l'après guerre, il y a généralement une ségrégation des fonctions résidentielles, commerciales et industrielles ainsi qu'une hiérarchie naturelle du réseau routier (Duany & al., 2000; Dumbaugh & Rae, 2009). Selon cette configuration urbaine, typique des banlieues d'Amérique du Nord, les rues locales sont exemptes de circulation de transit qui se concentre sur les rues collectrices, puis les artères et les autoroutes. En milieu urbain densément peuplé, par contre, les artères et les collectrices doivent souvent combiner les fonctions de mobilité et d'accès, i.e. que la circulation de transit côtoie la circulation locale accédant aux résidences et aux services. Le Manuel de sécurité routière publié par l'Association mondiale de la Route considère qu'il « est difficile de définir (et de préserver) des conditions d'exploitation sécuritaire » sur les routes à fonction mixtes (AIPCR, 2003). Ce manuel propose d'autres définitions des espaces de circulation, dont certains favoriseraient les piétons. Reconnaisant la problématique des artères en milieu urbain, depuis quelques années des organismes militent en faveur de « rues complètes » (« complete streets ») qui sont conçues pour être sécuritaires pour tous les usagers, incluant les piétons et les cyclistes (Laplante & McCann, 2008).

### ***Nombre de branches aux intersections***

#### *Risque accru de collisions aux intersections à quatre branches*

À une intersection constituées de quatre branches, il y a davantage d'opportunités de collision, de points de conflit potentiels entre les mouvements des usagers de la route, qu'à une intersection en forme de T, qu'à deux intersections en forme de T rapprochées ou qu'aux ronds-points (Ewing & Dumbaugh, 2009; FHWA, 2004). Par exemple, par rapport aux intersections ayant quatre branches, les possibilités de virage à gauche - un mouvement de véhicules augmentant le risque de collision pour les piétons (Leden, 2002) – sont réduites de moitié. Par conséquent, les taux de collisions et de blessés sont généralement plus élevés aux intersections constituées de quatre branches, pour les piétons comme pour les autres usagers de la route (Ewing & Dumbaugh, 2009; Lyon & Persaud, 2002). D'une manière générale, chaque accès additionnel par mile (1 mile = 1,6 kilomètre) de voie routière augmente le nombre de collisions de 4 % (FHWA, 2004).

#### *Connectivité et risque de collisions*

À l'échelle des quartiers, la proportion d'intersection constituée de quatre branches reflète la connectivité du réseau routier et la forme urbaine. En Amérique du Nord, la grille de rue orthogonale, quadrillée, est liée à la forme urbaine traditionnelle du début du XX<sup>e</sup> siècle et caractérise souvent les quartiers urbains centraux. Depuis la deuxième guerre mondiale, les nouveaux développements adoptent typiquement une structure arborescente comptant davantage d'intersections en forme de T, ce qui diminue la connectivité du réseau routier (Duany & al., 2000; Southworth & Ben, 2003); Boer & al., 2007). Selon deux études publiées en 2009, le nombre et la proportion d'intersections à quatre branches dans



un quartier sont associés à une incidence plus élevée de collisions et de blessés de la route (Dumbaugh & Rae, 2009; Lovegrove & Sayed, 2009).

#### *Atténuation du risque posé par les intersections à quatre branches*

La transformation d'une intersection constituée de quatre branches en deux intersections en forme de T rapprochées réduit le nombre potentiel de conflits entre les usagers de la route et le risque de collisions (FHWA, 2004). L'ajout d'un îlot circulaire (« traffic circle ») à une intersection à 4 branches, une sorte de mini rond-point obligeant les automobilistes à contourner l'obstacle, diminue aussi le nombre de points de conflits et le nombre de collisions (Ewing & Dumbaugh, 2009). D'autres mesures d'apaisement de la circulation telles que les saillies de trottoir, l'îlot de canalisation, le terre-plein, etc., permettent d'atténuer les problèmes de sécurité liés à la grille de rue orthogonale (Association des transports du Canada, 2001; Ewing, 1999; Ewing & Dumbaugh, 2009; Smith & al., 1980).

#### **Inégalités socioéconomiques et variation spatiale des taux de piétons blessés**

De grandes inégalités dans les taux de décès de la route sont observés entre les pays, entre les régions d'un pays ou entre les quartiers d'une ville (Lu & al., 2005; National Highway Traffic Safety Administration, 2008a; Peden & al., 2004). Au Québec, les taux de mortalité et d'hospitalisations secondaires aux accidents de la route sont fortement associés à la défavorisation matérielle (Hamel & Pampalon, 2002). Il y a 20 ans, une étude montréalaise rapportait des taux de blessures par collision quatre fois plus élevés chez les enfants des quartiers les plus pauvres; pour les jeunes piétons, ils étaient six fois plus élevés (Dougherty & al., 1990).

Ces variations dans les taux de blessures chez les piétons ont depuis longtemps été associées aux caractéristiques de la population : niveaux de revenu et d'éducation, proportion de mères monoparentales, taux de chômage, etc. (Cubbin & al., 2000; Graham & Stephens, 2008; Joly & al., 1991b; Lascala & al., 2004; Pless & al., 1989;). Cependant, peu d'études ont spécifiquement porté sur les mécanismes impliqués, sur le « chemin causal » qui, en théorie, implique des facteurs individuels et contextuels (Laflamme & Diderichsen, 2000; Macintyre & al., 2002; Macintyre & Ellaway, 2000; Laflamme & al., 2009).

Tel que présenté ailleurs dans cette thèse, les variations spatiales des taux de piétons blessés de la route ont été associées à des facteurs environnementaux, tels que la densité de trafic et d'artères, la densité de population, la présence de zones commerciales et/ou de bars, etc. (Clifton & Kremer-Fulfs, 2007; Lascala & al., 2001; Roberts & al., 1995b; Sebert Kuhlmann & al., 2009; Yiannakoulis & al., 2002; Wier & al., 2009). Selon deux études réalisées en Californie, les secteurs et les écoles les plus pauvres ont une probabilité plus grande d'être exposés à des volumes de circulation importants (Green & al., 2004; Gunier & al., 2003). D'autres études décrivent plutôt un « effet » du niveau socioéconomique des résidents d'un quartier sur le taux de piétons blessés qui est indépendant de ces facteurs environnementaux (Graham & al., 2005; Lascala & al., 2004; Wier & al., 2009). Ces études considère le niveau socio-économique comme un simple facteur de risque supplémentaire, indépendant. Or, dans une étude récente, la position socioéconomique n'a pas été incluse dans l'analyse multivariée parce qu'elle était corrélée aux autres facteurs environnementaux étudiés (Sebert Kuhlmann & al., 2009).

La position relative occupée dans la société détermine en partie l'occurrence des blessures, qu'elles soient liées aux collisions routières, aux chutes, aux brûlures, etc. (Laflamme & al., 2009). Le contexte social et la position sociale des individus peuvent influencer l'exposition au risque de collision et le risque de blessures associé à une exposition (Laflamme, 2001; Laflamme & Diderichsen, 2000; Laflamme & al., 2009). Par exemple, les personnes pauvres utilisent davantage d'autres modes de transports que l'automobile pour se déplacer (Chapleau, 2004). Selon des études basées sur des questionnaires auprès de parents d'élèves, la non possession d'une automobile est associée positivement à l'usage de la marche pour se rendre à l'école, au nombre de rues croisées et à la durée totale de marche quotidienne (Rao & al., 1997; Roberts & al., 1997). Selon une étude de type cas-témoin réalisée à Auckland en Nouvelle-Zélande, le risque pour un enfant d'être frappé par une voiture est deux fois plus élevé pour les enfants de familles ne possédant pas de voiture (Roberts & al., 1995b).

Une approche environnementale pourrait contribuer à réduire les inégalités socioéconomiques observées, par exemple en agissant sur l'exposition différentielle à la circulation automobile. Selon une recherche descriptive, l'implantation de mesures d'apaisement de la circulation automobile (« traffic calming ») dans les quartiers les plus défavorisés pourrait atténuer le gradient de blessures entre les quartiers riches et pauvres (Jones & al., 2005). Selon cette étude, le ratio des taux de jeunes piétons blessés entre les quartiers pauvres et les quartiers riches est passé de 3.2 à 2.0 entre 1992 et 2000, après l'implantation de mesures d'apaisement.

En somme, les écrits scientifiques revus dans ce troisième chapitre démontrent que l'influence des facteurs environnementaux sur le nombre de piétons blessés en milieu

urbain a fait l'objet de nombreuses recherches. Toutefois, les études sont caractérisées par les limites suivantes : les volumes de circulation automobile et les pratiques locales de marche ne sont pas toujours pris en compte; les enquêtes auprès d'individus et les études écologiques ne permettent pas de décrire la distribution et l'effet des facteurs environnementaux au sein des quartiers; les effets respectifs des volumes de circulation et des aménagements routiers ne sont pas toujours distingués; les analyses multivariées sont rarement fondées sur des modèles théoriques; les analyses effectuées à l'échelle du réseau routier (ex. : intersections) sont presque toutes limitées à des échantillons arbitraires de sites.

Il existe donc un besoin de nouvelles études portant sur l'ensemble du réseau routier ainsi que pour des études distinguant les effets des volumes de circulation, des pratiques locales de marche et des aménagements routiers. La thèse propose de combler en partie ces lacunes.

## CHAPITRE 4 - MÉTHODOLOGIE

Cette section vise à intégrer les aspects méthodologiques des différents volets de la thèse. Elle ne détaille pas toutes les analyses, puisque chacun des trois articles scientifiques décrit l'approche utilisée.

### **Devis de recherche**

Cette thèse exploite des méthodes épidémiologiques. Le devis général est de type descriptif et transversal. La perspective conceptuelle est novatrice et elle adopte une approche populationnelle tout en effectuant une analyse désagrégée des sites d'accidents et en tenant compte de différentes échelles d'analyse (l'intersection, le secteur de recensement, l'arrondissement).

### ***L'approche populationnelle***

La perspective conceptuelle pour étudier les facteurs environnementaux liés à la sécurité des piétons en milieu urbain s'inspire d'une approche populationnelle, visant ultimement à réduire le nombre total de piétons blessés en milieu urbain (Kindig & Stoddart, 2003; Rose, 1985). Ainsi, cette thèse ne se limite pas à un sous-groupe particulier de la population (ex. : enfants, personnes âgées) ni à un échantillon de sites routiers : elle considère l'ensemble des sites potentiels de collision entre un véhicule et un piéton, sans égard au nombre ou aux caractéristiques des piétons blessés, sans égard à la présence ou à l'intensité des facteurs environnementaux associés à la survenue des collisions. De plus, cette recherche ne vise pas uniquement à quantifier les effets des facteurs environnementaux. En prenant en compte leur distribution géographique, elle vise aussi à

quantifier leur contribution à la variation spatiale du problème des piétons blessés en milieu urbain.

L'approche populationnelle semble particulièrement appropriée – et novatrice - pour l'analyse des facteurs environnementaux associés à la sécurité des piétons. Premièrement, en milieu urbain presque tous les marcheurs sont exposés au risque de collision routière et de blessure, sur pratiquement l'ensemble du réseau routier. Deuxièmement, il existe de grandes variations dans les taux de piétons blessés entre les quartiers d'une ville, entre les régions d'un pays ou entre différents pays. Troisièmement, plusieurs déterminants environnementaux des collisions et blessures sont relativement bien documentés. Cependant, l'influence des aménagements routiers à l'échelle d'une ville est peu connue. Dans le domaine de la santé publique la majorité des études publiées portent sur le risque individuel de blessures plutôt que sur l'environnement routier en soi. Dans le domaine de l'ingénierie civile, où les recherches portent directement sur le contexte, l'environnement routier, les analyses se limitent souvent aux « sites dangereux » comptant le plus grand nombre de blessés, à un échantillon arbitraire d'intersections ou à des sites ayant bénéficié de réfections particulières.

### ***Une analyse désagrégée, à l'échelle de l'intersection***

Le développement récent des systèmes d'information géographique (SIG) permet désormais l'analyse spatiale d'un très grand nombre de sites (Lightstone & al., 2001; Pulugurtha & al., 2007; Schuurman & al., 2009). Ainsi, il est maintenant possible de localiser précisément l'ensemble des blessés de la route et de lier géographiquement les sites de collision à différentes caractéristiques environnementales. Avant l'avènement des SIG, les analyses spatiales se limitaient aux « sites dangereux » ou adoptaient des devis

écologiques. Au contraire des études écologiques, cette recherche n'agrège pas les sites de collisions et les caractéristiques environnementales. L'analyse du lien entre le nombre de blessés et les caractéristiques des intersections se fait au niveau de l'intersection. Cette analyse désagrégée permet d'éliminer une possible erreur écologique et de prendre en compte la distribution des caractéristiques des intersections (ex. : volume de trafic, type de route) au sein des arrondissements (article 2) ou des secteurs de recensement (article 3) (Diez-Roux, 1998; Morgenstern, 1982).

### ***Une analyse multi-niveaux***

Plusieurs études écologiques ont démontré l'influence de variables liées à l'environnement bâti sur les variations spatiales du nombre de piétons blessés dans un secteur (Joly & al., 1991a; Joly & al., 1991b; Yiannakoulis & al., 2002; Wier & al., 2009). Dans cette étude, l'analyse multi-niveaux niche ou imbrique les intersections dans les arrondissements (article 2) ou les secteurs de recensement (article 3). Ainsi, en plus des caractéristiques des intersections, l'analyse peut prendre en compte certaines caractéristiques des secteurs, telles que la densité de population ou le niveau socioéconomique des résidents. L'analyse multi-niveaux permet de décrire l'ampleur des variations spatiales du nombre de piétons blessés aux intersections, selon le secteur de la ville. Elle permet aussi d'estimer la contribution des facteurs environnementaux à ces variations spatiales.

### **Lieu des recherches**

Les recherches menées dans le cadre de ce doctorat ont été réalisées dans la région métropolitaine de Montréal, où vivent près de la moitié de la population de la province de

Québec (Canada). Montréal est, après Toronto, la deuxième agglomération la plus peuplée du Canada. En 2001, l'agglomération montréalaise comptait 3.2 millions d'habitants sur un territoire de 1 677 km<sup>2</sup> (Statistics Canada, 2002)<sup>7</sup>. Plus spécifiquement, l'étude a été réalisée sur l'île de Montréal, un territoire de 482 km<sup>2</sup> située au cœur de l'agglomération et qui comptait, en 2001, 1.8 millions d'habitants.

Dans la grande région métropolitaine de Montréal comme sur l'île de Montréal, la majorité des déplacements est effectué en automobile (respectivement 70% et 62%, selon l'enquête origine-destination de 1998) (Agence métropolitaine du transport, 2000). Seule une faible fraction des déplacements est entièrement effectuée à pieds ou à vélo : respectivement 13% pour la région métropolitaine de Montréal et 16% pour l'île de Montréal. Selon cette enquête origine-destination, le nombre moyen d'automobiles par ménage était en moyenne de 1.18 pour l'ensemble de la région métropolitaine, mais il était beaucoup plus élevé en périphérie, à l'extérieur de l'île, que pour les résidants de l'île de Montréal (respectivement 1.39 et 0.88 automobiles par ménage). Sur l'île de Montréal, environ un tiers (32%) des 805 683 ménages ne possédaient pas de voiture.

### **Usagers de la route ciblés et population étudiée**

Cette thèse porte spécifiquement sur les piétons blessés en milieu urbain, mais certains volets de la recherche ont aussi inclus d'autres usagers de la route (e.g., cyclistes, usagers de véhicules à moteur), afin d'accroître le potentiel de généralisation des résultats. Dans les différentes études, c'est l'ensemble des personnes blessés par un véhicule à moteur sur l'île de Montréal au cours d'une période de cinq années (1999 à 2003) qui sont

---

<sup>7</sup> Les données du recensement de 2001 et de l'enquête O-D 1998 sont présentées parce que la période étudiée est de 1999 à 2003 (voir plus loin).



étudiées – ce qui comprend toutes les personnes blessés par un véhicule sur l'île de Montréal pour lesquelles il y a eu une intervention ambulancière entre le 1<sup>er</sup> janvier 1999 et le 31 décembre 2003.

### **Sources de données et dimensions étudiées**

Le tableau A présente les concepts étudiés dans cette thèse, les sources de données, les principales variables utilisées et une description sommaire des variables. Puis dans les paragraphes subséquents, chaque base de données est décrite brièvement.

|

**Tableau A : Concepts étudiés, sources de données, principales variables utilisées et brève description des variables**

	Sources - Variables - Description sommaire		Article		
			1	2	3
Nombre et distribution des blessés	<i>Urgences-santé</i>				
	Types d'usager de la route	Piétons, cyclistes, occupants de véhicules à moteur et motocyclistes.	x	x	x
	Âge	Âge de la personne blessée.	x		x
	Sexe	Sexe de la personne blessée.	x		
	Sévérité des blessures	Indice préhospitalier de traumatologie (IPT); un IPT supérieur à 3 indique un trauma sévère.			x
Localisation géographique	Lieu de l' intervention ambulancière (coordonnées géographiques: x,y), proxy pour le lieu de collision.	x	x	x	
Volumes de circulation automobile	<i>Enquête Origine - Destination</i>				
	Débit quotidien	Estimé du volume de circulation automobile quotidien pour chaque intersection.		x	x
Pratiques locales de marche	<i>Recensement</i>				
	Densité de population	Densité de population dans le secteur de recensement.			x
Géométrie du réseau routier	Types de route	Hiérarchie fonctionnelle du réseau routier montréalais: artère principale, artère secondaire, artère collectrice et rue locale.	x	x	x
	Configuration des intersections	Nombre d'approches à l'intersection (trois ou quatre).		x	x
Contexte socio-économique	<i>Recensement</i>				
	Revenu des ménages	Revenu moyen des ménages d'un secteur de recensement ou d'un arrondissement.		x	x

### *Urgences-santé*

L'information sur les blessés de la route provient des systèmes d'information d'Urgences-santé, tel que décrit à l'annexe 2. Sur l'île de Montréal, les services d'urgences ambulanciers sont exclusivement offerts par la Corporation d'Urgences-santé. Leurs registres comprennent notamment les coordonnées géographiques des lieux d'intervention, le mécanisme du traumatisme, le type d'usager de la route, des indicateurs de gravité

validés, l'âge et le sexe de la personne blessée (Morency & Cloutier, 2005; Sampalis & al., 1996).

Il est à noter que les sources habituelles de données pour les blessés de la route sont les registres de décès et d'hospitalisations ainsi que les rapports d'accidents des policiers. La pertinence, les avantages et limites de cette nouvelle source de données est surtout discutée dans le premier article. Le tableau B présente le nombre de blessés répertoriés selon les différentes sources, pour chaque type d'usagers de la route.

**Tableau B : Bilan routier montréalais, selon différentes sources\* (1999 à 2003)**

	Occupants de véhicule à moteur	Motocyclistes	Cyclistes	Piétons
Registre des décès	132	13	21	120
Registre des hospitalisations **	1690	306	1076	1253
<b>Urgences-santé</b>	<b>26930</b>	<b>1080</b>	<b>4751</b>	<b>5082</b>
Rapports d'accidents des policiers	46620	1337	4352	8912

\* Sources : (SAAQ, 2006b ; SAAQ, 2004 ; Morency & Cloutier, 2005 ; Morency, 2006). Il est à noter que la région de résidence est utilisée pour les hospitalisations tandis que la région de l'accident est utilisée pour les décès, les interventions ambulancières et les rapports policiers.

\*\* Il peut y avoir plusieurs hospitalisations pour un même blessé.

### *Enquête Origine-Destination*

Les estimés du volume de circulation automobile proviennent de l'enquête Origine-Destination. L'enquête Origine-Destination (O-D), répétée aux cinq ans, mesure la mobilité de la population dans la grande région montréalaise (Agence métropolitaine du transport, 2005). Plus précisément, elle mesure les déplacements effectués au cours d'une journée de la semaine : origine, destination, motif, mode de transport, période de la journée, etc. Pour l'enquête O-D 1998, des entrevues téléphoniques ont été complétées auprès de plus de 65 000 ménages habitant l'une des 135 municipalités de la région métropolitaine de Montréal.

La méthode d'estimation des volumes de trafic, ainsi que ses limites, sont détaillées dans les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> articles. Cependant, on peut dire sommairement que l'estimation du nombre moyen de véhicules motorisés passant lors d'un jour de semaine dans chaque secteur de recensement a été estimé pour chaque type de route, par Catherine Morency, professeur adjoint au Département des génies civil, géologique et des mines de l'École Polytechnique de l'Université de Montréal. Le volume de trafic estimé pour chaque intersection provient de la somme des débits moyens ainsi obtenus pour chacune des branches de l'intersection. Cette procédure a été réalisée par Patrick Morency. Par rapport aux comptages de véhicules, l'utilisation de l'enquête Origine-Destination permet d'obtenir des estimés de circulation automobile pour l'ensemble du réseau routier de l'île de Montréal.

### ***Géobase - réseau routier numérique***

La Géobase de la Ville de Montréal fournit le réseau routier numérique détaillé de l'île de Montréal, duquel sont extraits deux indicateurs de la géométrie des routes. En excluant les autoroutes, la hiérarchie du réseau distingue quatre catégories de routes : artère principale, artère secondaire, artère collectrice et rue locale. Le 1<sup>er</sup> article distingue les rues locales des autres routes (artères, collectrices). Dans les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> articles, les routes sont regroupées en deux catégories : les routes majeures (artères principales et secondaires) et les routes mineures (collectrices, rues locales). Ce regroupement est basé sur le fait que les artères sont gérées par l'administration centrale de la Ville de Montréal tandis que les collectrices et les rues locales sont gérées par les arrondissements. Le nombre de branches présentes aux intersections provient également du fichier du réseau routier. Dans les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

articles, les intersections sont catégorisées selon le nombre de branches (trois versus quatre).

### ***Recensement***

Le recensement fournit les indicateurs des pratiques locales de marche et de la position socioéconomique des secteurs de la ville. Outre la taille de la population, les recensements canadiens fournissent depuis 1971 de l'information sur les déplacements entre le domicile et le travail. Le recensement 2001 permet d'obtenir des données sur le mode de transport utilisé pour se rendre au travail pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail ou sans adresse de travail fixe. La densité de population dans un secteur de recensement ainsi que la proportion de la population active (travailleurs) qui marchent et/ou utilisent les transports collectifs pour se rendre au travail sont utilisés comme indicateurs (« proxies ») des volumes de piétons à l'échelle locale. Le revenu moyen des ménages sert d'indicateur de la position socioéconomique des secteurs de recensement (2<sup>e</sup> article) et des arrondissements (3<sup>e</sup> article).

### ***Délimitations géographiques***

Dans cette recherche, les secteurs de la ville sont utilisés pour représenter le contexte local, ainsi que pour illustrer et quantifier les variations spatiales du nombre de blessés, des facteurs environnementaux et de l'effet du volume de circulation. Ils permettent aussi, indirectement, de mettre en exergue l'effet potentiel de la position socioéconomique des quartiers et des politiques locales de transport. Les systèmes d'information géographiques de la Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal (DSP ; Annexe 5) ont fourni les délimitations de l'île de

Montréal, des arrondissements montréalais de 2001 (1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> article) et des secteurs de recensement de 2001 (3<sup>e</sup> article).

### **Sélection des cas et critères d'exclusion**

La collecte et la validation des données d'Urgences-santé sont décrites en détail dans un rapport de recherche dont la section « méthodologie » est jointe à l'annexe 2, avec l'accord de la DSP (Morency & Cloutier, 2005). Le rapport complet est disponible sur le site internet de la DSP ([www.santepub-mtl.qc.ca](http://www.santepub-mtl.qc.ca), sous l'onglet publications ; consulté le 30 mars 2010). Tel que décrit dans cette annexe, l'identification des cas s'est faite à partir du registre des rapports d'intervention pré-hospitalière (RIP) complétés par les ambulanciers d'Urgences-santé.

En résumé, le processus de sélection a permis d'exclure les doublons, les RIPs pour lesquels une collision routière est douteuse, les chutes de piétons ainsi que les événements sans coordonnées géographiques (annexe 2, Figures 1 et 2). Globalement, 3 968 (9 %) RIPs des 41 811 RIPs initiaux, ont été exclus. Pour cette thèse, les motocyclistes (n=1 080) ont aussi été exclus. La population étudiée comprend donc 5 082 piétons blessés, 4 751 cyclistes blessés et 26 930 occupants de véhicules à moteur blessés. Toutefois, il est à noter que les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> articles ne portent que sur les blessés aux intersections. L'exclusion de quelques secteurs de recensements (3<sup>e</sup> article) et d'environ 1 % des intersections, décrite dans les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> articles, a aussi entraîné l'exclusion supplémentaire de certains cas.

## Analyses

Les analyses effectuées sont principalement décrites dans la section méthodologique des trois articles. Cette section était sommairement la pertinence des analyses descriptives ainsi que le choix des modèles de régression multi-niveaux et multivariés.

Dans cette thèse, les analyses descriptives occupent une place primordiale. Le premier article, par exemple, se limite essentiellement à localiser l'ensemble des sites comptant au moins un piéton blessé dans un milieu urbain. Des indicateurs comme le nombre ou la proportion d'intersections touchées dans un quartier répondent en partie à l'objectif de ce 1<sup>er</sup> article. Le nombre de piétons blessés par intersection, selon le volume de trafic et le type de routes à l'intersection, permet d'explorer la présence d'un effet additif de ces deux facteurs environnementaux (2<sup>e</sup> article). Les analyses descriptives servent aussi à décrire l'ampleur de la variation du nombre de piétons blessés et des facteurs environnementaux entre les arrondissements et entre les secteurs de recensement (2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> article).

Bien qu'elles n'aient pas été incluses dans cette thèse, des régressions locales pondérées (LOESS)<sup>8</sup> et des régressions binomiales négatives, effectuées pour chacun des arrondissements, ont démontré de grandes variations de l'effet du trafic selon l'arrondissement. Le choix d'utiliser des modèles de régression multi-niveaux permet de prendre en compte ces variations locales de l'effet du trafic.

---

<sup>8</sup> Locally weighted least square regression analyses (LOESS) : Cette méthode d'analyse non-paramétrique produit des régression spécifiques basées sur le voisinage de chaque valeur prédictive, ce qui permet de visualiser, via un diagramme de dispersion (scatter plot), la forme d'une relation entre deux variables quantitative sans imposer une relation linéaire, quadratique ou logarithmique (Cleveland & Devlin, 1988).

Tel que discuté dans le chapitre 3, les volumes de trafic et de marche, la présence d'artère(s) et d'une quatrième branche à l'intersection semblent associés au nombre de piétons blessés par des mécanismes fort différents. La volonté de prendre en compte et de quantifier ces effets potentiellement indépendants a mené à l'utilisation des modèles d'analyse multivariés dans les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> articles.

Parmi les facteurs environnementaux associés aux collisions routières, les caractéristiques des intersections sont des variables plus proximales que la position socioéconomique des quartiers, un facteur relativement distal. En théorie, la prise en compte simultanée de ces facteurs dans une analyse multivariée peut entraîner une sous-estimation de leur effet (Victora & al., 1997). La procédure d'analyse séquentielle proposée par Victora a été suivie dans le 3<sup>e</sup> article : le premier modèle d'analyse multivariée n'inclut que la position socioéconomique des quartiers. Ensuite, les volumes de trafic, la géométrie des routes et les volumes de marche sont progressivement ajoutés dans les modèles suivants.

### **Éthique**

Cette thèse a été entreprise dans l'objectif d'améliorer les connaissances afin d'éventuellement informer les acteurs qui développent des interventions visant à diminuer le nombre de piétons blessés. Elle est donc inspirée d'un esprit de bienfaisance et vise l'intérêt collectif. L'étude n'a aucunement modifié les interventions d'Urgences-santé auprès de sa clientèle. Les informations, collectées de routine par Urgences-santé, ont été obtenues rétrospectivement. Aucune personne blessée n'a été rencontrée individuellement. Aucune information nominative (ex. : nom, prénom, numéro d'assurance maladie) n'a été collectée. En ce qui concerne l'âge, seul le nombre d'années de vie au moment de la



collision a été retenu, excluant ainsi toute possibilité de connaître la date de naissance. Les fichiers d'Urgences-santé constitués pour l'analyse ne sont accessibles qu'à l'équipe de chercheurs impliqués dans la production des articles scientifiques. Les rapports d'analyses et les communications ne portent que sur l'ensemble des collisions ou sur des sous-groupes, sans jamais décrire les caractéristiques d'un événement en particulier. Les autres données proviennent de fichiers largement accessibles, pour des fins académiques, et ne portent que sur des populations (ex. : recensement) ou l'environnement urbain (ex. : réseau routier).

Par souci de transparence, il faut aussi ajouter que cette thèse a émergé du besoin d'améliorer les connaissances et les interventions dans le domaine de la prévention des traumatismes routiers, dans le cadre de mes activités professionnelles à la DSP. D'une part, cette thèse a bénéficié du soutien indirect de la DSP, puisque certaines connaissances et articles scientifiques ont été acquis dans le cadre de mon travail. D'autre part, les productions intermédiaires (communications orales, résultats préliminaires, articles, etc.) ont contribué aux travaux du secteur « Environnement urbain et santé » de la DSP.



**CHAPITRE 5 - FROM TARGETED “BLACK SPOTS” TO AREA-WIDE  
PEDESTRIAN SAFETY (ARTICLE 1)**

Patrick Morency<sup>1</sup>, Marie-Soleil Cloutier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal,  
Montréal, Québec, Canada

<sup>2</sup> Université de Montréal, Département de Géographie, Montréal, Québec, Canada

Word count (excluding title page, references, figures and tables): 1 783

**ABSTRACT**

**OBJECTIVE:** To describe and illustrate the geographical distribution of pedestrian crash sites in an urban setting (Montreal, Canada), with an alternative data source.

**METHODS:** Data on pedestrian victims were extracted for a five-year period (1999-2003) from ambulance services information systems. The locations of crash sites and pedestrian victim density were mapped using a geographic information system (GIS). Pedestrian “black spots” were defined as sites where there had been at least eight pedestrian victims.

**RESULTS:** The 22 identified “black spots” represent only one percent of all city intersections with at least one victim and four percent of all injured pedestrians, while 5 082 victims were injured at more than 3 500 different crash sites. The number and population rates of injured pedestrians are greater in central boroughs. Accordingly, the density of pedestrian victims is much higher within central boroughs. Over the five-years period, in some central boroughs pedestrian crashes occurred in as many as a quarter (26%) of intersections. **CONCLUSION:** Ambulance information systems were relevant to map pedestrian crash sites. Most pedestrians were injured at locations that would have been missed by the “black spot” approach. This-high risk preventive strategy cannot substantially reduce the total number of injured or the insecurity that many pedestrians experience when walking. Considering the large number and widespread occurrence of pedestrian crashes in Montreal, prevention strategies should include comprehensive environmental measures such as global reduction of traffic volume and speed.

**KEY POINTS**

- The geographic coding of ambulance information systems provides relevant information to examine pedestrian crash locations.
- In Montreal, Canada, locations of pedestrian crash sites are widespread within central boroughs.
- Limiting analyses and interventions solely to “black spots” largely fails to address the area-wide problem of pedestrian safety.

**KEYWORDS**

Pedestrians, road injuries, emergency medical services, geographic information systems

## BACKGROUND

Five pedestrians a day are injured from motor vehicle collisions on the island of Montreal (Canada).[1] The 1830 pedestrians injured in 2005 represent almost half (47 %) of all pedestrians injured in the province of Quebec, even though only a quarter of Quebecers live on the island. Moreover, pedestrians are more likely to suffer severe injuries: among all road users injured in Montreal, pedestrians represent 14% of people injured, 29% of hospitalisations and 47% of road deaths.[2] To improve the safety of vulnerable road users in a motorized urban setting like Montreal, public health interventions must influence transportation planning, a process rarely based on health issues, and provide timely and useful information.[3]

It is routine practice to monitor car crashes and their consequences in Québec; but crash reports, death certificates or hospital discharge forms are often analysed without consideration of crash site distribution across the road network.[1, 4] While ecological studies are useful to describe spatial patterns and identify environmental risk factors, they cannot pinpoint specific streets or intersections due to the limits of aggregated data at the census-tract or neighbourhood level.[5-9] Nowadays, the development of geographic information systems allows for disaggregated analysis of crash sites.[10, 11] However, even if the precise locations of all crash sites could be known and analysed, transportation department interventions are still restricted to the most hazardous locations.[12, 13]

In their review of “black spot” literature, Joly et al.[14] pointed out that there was little continuity in the definitions and selection criteria of “black spots”, a problem that still persists.[15] Whatever the precise definitions and methods, derived from probability

models or measured crash frequency, this kind of analysis focuses only on a very small proportion of injured people. Indeed, results of these investigations do not provide a broad picture of the magnitude of the problem, especially in urban settings. For example, a well-documented Montreal study retained 138 “black spots”, which added up to only six percent of road crashes over a period of three years.[16] More recently, the City of Montreal listed nine “black spots” for pedestrians, representing three percent (46 victims) of pedestrians injured in 2002.[13]

In Quebec, crash reports filled out by police officers have technical limitations (e.g. standardisation of entered data) that currently prevent their use to easily map crash sites.[17] On the other hand, emergency services geographic information systems (ambulance and 911) contain information on crash sites (geographic coordinates) and on victims (road user type, injury severity score, etc.) but have not been used for road safety analysis.

The objective of this research was to describe and illustrate the geographical distribution of pedestrian crash sites across the city with information gathered by Montreal ambulance services, an alternative source of data.

## **METHODS**

### **Urgences-santé dataset**

The population studied includes all injured road users for whom an ambulance was sent on the island of Montreal between January 1<sup>st</sup> 1999 and December 31<sup>st</sup> 2003. The Urgences-santé Corporation, Montreal’s ambulance service, is the single source of data

since it has a monopoly on the territory covered. The dataset was extracted from original files of two subsets: incoming calls (geographic coordinates) and pre-hospital intervention reports (road user category, age, sex, severity scores). The validation process excluded duplicate calls or reports (25), pedestrian falls (688), and events with missing geographic coordinates (76); 5082 pedestrian victims were retained for the present analysis.[18]

### **Mapping and Analyses**

For every call made to 911 in Montreal, the caller's address is automatically sent to Urgences-santé and the location of the victim is validated over the phone. This location is instantly mapped in a geographic information system to dispatch and guide an ambulance. For the purpose of our project, these locations were assumed to be crash sites. The mapping of all crash sites and the density calculations were executed in ArcGIS.[19] Pedestrian victim density was computed with a pixel size of 10 meters and search radius of 500 meters. Identical locations were aggregated and the Montreal hierarchical street network (called *geobase*) was used to combine locations within a radius of 15 meters of an intersection.[20] Pedestrian "black spots" were defined as sites where there had been at least eight pedestrian victims within a five-year period (1999-2003). Crash sites were categorised into local streets and major roads (major or minor arterial roads and collector roads). Number of victims was calculated for each Montreal borough, as delimited in 2001. Finally, rates were calculated with population data from the 2001 population census, and descriptive analyses of other attributes were performed using SPSS.[21, 22]



## **RESULTS**

### **Age and sex**

An almost equal number of male (51%) and female (49%) pedestrians were injured. The population rate is higher for younger age groups (5 to 19 years old) and older people (65 years old or over), compared to the overall rate (419, 310 and 280 pedestrians injured per 100 000 inhabitants respectively).

### **Location of “black spots”**

Three quarters of injured pedestrians were hit between intersections (37%) or at street corners where only one or two pedestrians had been injured (38%) (Figure 1). There are only 22 intersections where eight or more pedestrians had been injured in the five-year period, and they are mostly located in central boroughs (Table 1). These sites represent one percent of all the city intersections with at least one victim, and four percent of all injured pedestrians. In fact, the 5 082 victims were injured at more than 3 500 different sites.

### **Spatial distribution of pedestrian crash sites**

Although there are crash sites in every part of the island, the number of injured pedestrians is greater in central boroughs (Table 1; Figure 2). Population rates are also higher in central boroughs than in eastern and western ones (354, 233 and 140 per 100 000 inhabitants respectively).

Figure 3 shows the high density of pedestrian crash sites within central boroughs. In some boroughs, pedestrian crashes occur at up to a quarter (26%) of intersections. Since different crash sites are added over the years, these proportions increase for each extra year

considered, as shown in Table 2. Over a five-year period, very few streets are free of crash sites. Furthermore, it should be noted that pedestrian crashes occur on local streets (19%) as well as on major roads (44%) or their intersections (37%).

Figure 4 shows the widespread distribution of pedestrian crash sites within a typical central borough where there is a high level of through traffic: Rosemont/Petite-Patrie is an established working-class residential neighbourhood located north east of the downtown area. This borough has only three black spots but 345 different pedestrian crash sites over five years.

## **DISCUSSION**

### **Toward an integration of different sources of information**

This study aims to illustrate the problem of pedestrian safety for a whole area, not only for a sampling of intersections or a specific neighbourhood. The availability of precise proxy geographic locations supports the use of ambulance information systems to map pedestrian crash sites at a regional or local level. The number of pedestrians included in our study represents 57% of all pedestrian victims reported by police services for the same period.[1] It is not known how these 2 data sources overlap, but it has been reported that health services datasets provide cases missed by police datasets.[23, 24] It would be useful to merge different sources of information on road traffic crashes into a spatially referenced database. Such a database would likely provide more information on the location, circumstances and outcomes of a larger number of pedestrian crashes and victims for each year.

### **The usefulness of geographic information system (GIS)**

Our descriptive results show the potential usefulness of a spatially referenced database for safety initiatives. This first step provides precise positioning of pedestrian crash sites on the streets with the help of a GIS. A next step would be to link road injuries with local mobility to estimate the risk for each kilometre walked. Further research should also analyse the role of traffic volume, street configuration and macro-level factors such as urban design. With the integration of such variables, GIS and spatial analysis may help shift prevention toward environmental approaches.

**Implications for prevention: The need for large-scale broad interventions**

Most pedestrians were injured at locations that would have been missed by the “black spot” approach, a high-risk preventive strategy.[25] Although the classic “black spot” method can identify a few specific places of great concern, it cannot lower substantially the total number of injured or help reduce the insecurity that many pedestrians experience when walking. Moreover, the alleged efficacy of “black spot” safety programmes may be confounded by many factors such as regression to the mean effect, crash site migration or changes in traffic patterns.[12] In Montreal, despite targeted interventions, the number of road victims increased by 17% from 1998 to 2003.[26]

Our results show that pedestrian crash sites are broadly dispersed in Montreal. Over a five-year period, pedestrians were injured at a quarter (26%) of intersections in some central boroughs. The number and proportion of intersections involved would still increase with a longer observation period or with a merged database counting all victims. Citing G. Rose: “The high-risk preventive strategy (...) is an inadequate response to a common disease or a widespread cause”.[25] Our study was inspired by the population approach, which considers all pedestrian crashes, rather than only those at intersections where they occur most frequently. Since the distribution of crashes among intersections follows a poisson distribution, there is obviously a need to also act upon intersections with a lower probability of crashes to reduce the incidence rate.

In Montreal, it seems doubtful that the total number of road victims can be reduced without a strategy embracing all central boroughs. The global reduction of traffic volume and speed combined with the generalisation of measures to protect pedestrians crossing at intersections would be the most appropriate and powerful strategies.[27-29] This approach

would imply the control of urban sprawl, the implementation of road pricing and parking restrictions, the improvement of public transit, area-wide traffic calming, speed enforcement and other simple measures like the prohibition of curb parking near intersections, which is still allowed almost everywhere in Montreal.

## CONCLUSION

The geographical distribution of pedestrian victims highlights the widespread insecurity people experience in Montreal while walking. Hundreds of millions of dollars are spent yearly in the Montreal area to repair the road system and accommodate ever increasing car traffic; some resources should also be dedicated specifically to pedestrian safety. Modifying the urban environment according to pedestrian needs would have many health benefits other than injury prevention that would be related either to increased physical activity or reduced pollution.[3, 30-33] Considering the diversity and severity of health problems associated with ongoing motorisation, we, as public health professionals, should address the priority given to the automobile in our cities.

**ACKNOWLEDGMENTS:** The authors wish to thank all the people at *Urgences-santé*, particularly Éric Lareau, Gisèle Ouimet and David Beaumont. This project was funded by the *Programme de subvention en santé publique du Ministère de la Santé et des Services sociaux (2004)*. Preliminary results were presented as a poster in French at the *Journées Annuelles de Santé Publique du Québec* in 2004. The English version was edited by Sylvie Gauthier.

**REFERENCES**

- 1 Société de l'assurance automobile du Québec. *Bilan 2005: Accidents, parc automobile, permis de conduire*. Québec: Direction des études et des stratégies en sécurité routière; 2006.
- 2 Direction de santé publique de Montréal. *Urban Transportation, a Question of Health: 2006 Annual Report on the Health of the Population*. Montréal: Agence de la santé et des services sociaux de Montréal; 2006.
- 3 Litman T. Integrating public health objectives in transportation decision-making. *American Journal of Health Promotion*. 2003;**18**:103-8.
- 4 Hamel D, Masson I. *Évolution des traumatismes au Québec de 1991 à 1999*. Montréal: Institut national de santé publique du Québec; 2001.
- 5 Joly MF, Foggin PM, Pless IB. Geographical and socio-ecological variations of traffic accidents among children. *Social Science & Medicine*. 1991;**33**:765-9.
- 6 Lascala EA, Gerber D, Gruenewald PJ. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accident Analysis & Prevention*. 2000;**32**:651-8.
- 7 Ewing R, Schieber RA, Zegeer CV. Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. *American Journal of Public Health*. 2003;**93**:1541-5.
- 8 Mather FJ, White LE, Langlois EC, Shorter CF, Swalm CM, Shaffer JG, et al. Statistical methods for linking health, exposure, and hazards. *Environmental Health Perspectives*. 2004;**112**:1440-5.
- 9 Diez-Roux AV. Bringing context back into epidemiology: variables and fallacies in multilevel analysis. *American Journal of Public Health*. 1998;**88**:216-22.

- 10 Richards TB, Croner CM, Rushton G, Brown CK, Fowler L. Geographic information systems and public health: mapping the future. *Public Health Reports*. 1999;**114**:359-73.
- 11 Lightstone AS, Dhillon PK, Peek-Asa C, Kraus JF. A geographic analysis of motor vehicle collisions with child pedestrians in Long Beach, California: comparing intersection and midblock incident locations. *Injury Prevention*. 2001;**7**:155-60.
- 12 Elvik R. Evaluations of road accident blackspot treatment: a case of the Iron Law of Evaluation Studies? *Accident Analysis & Prevention*. 1997;**29**:191-9.
- 13 Service des travaux publics et de l'environnement. Données relatives aux accidents en 2001 et 2002. Ville de Montréal; 2003.
- 14 Joly M-F, Bourbeau R, Bergeron J, Messier S. *Analytical approach to the identification of hazardous road locations : a review of the literature*. Montréal: Centre de recherche sur les transports; 1992.
- 15 Geurts K, Wets G, Brijs T, Vanhoff K. Ranking and selecting dangerous accident locations: case study. *Urban Transport XI*: Wessex Institute of Technology; 2005. p. 229-38.
- 16 Messier S, Bourbeau R, Université de Montréal. Centre de recherche sur les transports. *Les Sites dangereux sur l'Île de Montréal et les accidents de la circulation routière, 1984-1986*. Montréal: Centre de recherche sur les transports; 1989.
- 17 Cloutier M-S. *L'utilité d'un système d'information géographique pour analyser la sécurité des enfants à proximité des écoles primaires de Montréal [Master Thesis]*: Université du Québec à Montréal; 2004.
- 18 Morency P, Cloutier M-S. *Distribution géographique des blessés de la route sur l'île de Montréal (1999-2003): Cartographie pour les 27 arrondissements*. Montreal: Direction de santé publique de Montréal; 2005.



- 19 Environmental Systems Research Institute (ESRI) inc. ArcInfo-ArcView, Version 9.1. ESRI inc.; 2005.
- 20 City of Montreal. Road network (geobase), version June 2004. Division Géomatique; 2004.
- 21 Statistics Canada. 2001 Population Census. Minister of Industry, Government of Canada; 2002.
- 22 SPSS inc. SPSS for Windows, version 11. 2002.
- 23 Dhillon PK, Lightstone AS, Peek-Asa C, Kraus JF. Assessment of hospital and police ascertainment of automobile versus childhood pedestrian and bicyclist collisions. *Accident Analysis & Prevention*. 2001;**33**:529-37.
- 24 Cryer PC, Westrup S, Cook AC, Ashwell V, Bridger P, Clarke C. Investigation of bias after data linkage of hospital admissions data to police road traffic crash reports. *Injury Prevention*. 2001;**7**:234-41.
- 25 Rose GA. *The strategy of preventive medicine*: Oxford University Press; 1992.
- 26 Société de l'assurance automobile du Québec. *Bilan 2003: Accidents, parc automobile, permis de conduire*. Quebec: Direction des études et des stratégies en sécurité routière; 2004.
- 27 Elvik R. Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accident Analysis & Prevention*. 2001;**33**:327-36.
- 28 Johnston I. Reducing injury from speed related road crashes. *Injury Prevention*. 2004;**10**:257-9.
- 29 Transport Association of Canada. *Canadian guide to neighbourhood traffic calming*. Ottawa; 1998.
- 30 British Medical Association. *Road transport & health*; 1997.

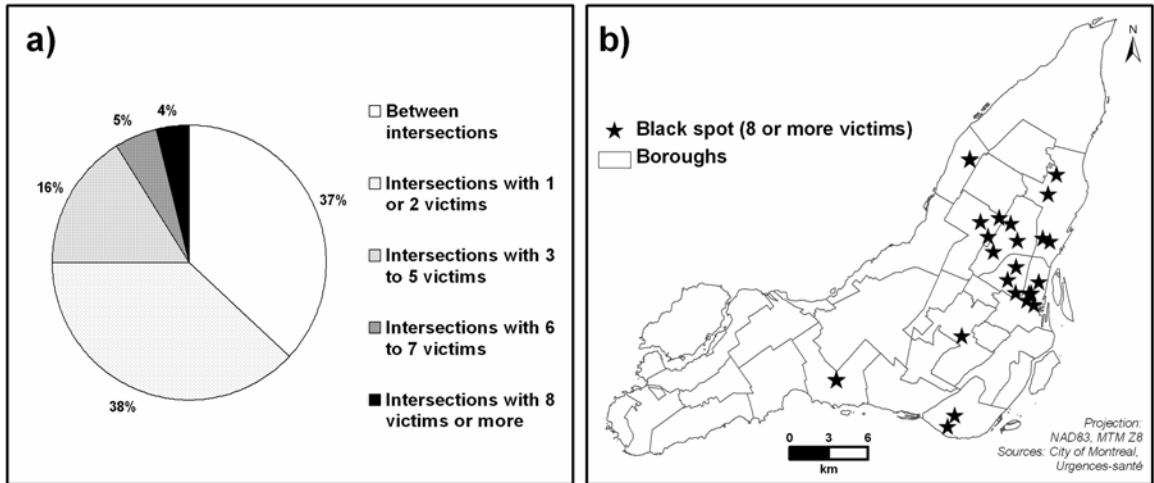
- 31 Dora C. A different route to health: implications of transport policies. *BMJ*. 1999;**318**:1686-9.
- 32 Haines A, McMichael T, Anderson R, Houghton J. Fossil fuels, transport, and public health. *BMJ*. 2000;**321**:1168-9.
- 33 Frumkin H. Urban sprawl and public health. *Public Health Reports*. 2002;**117**:201-17.

FIGURES

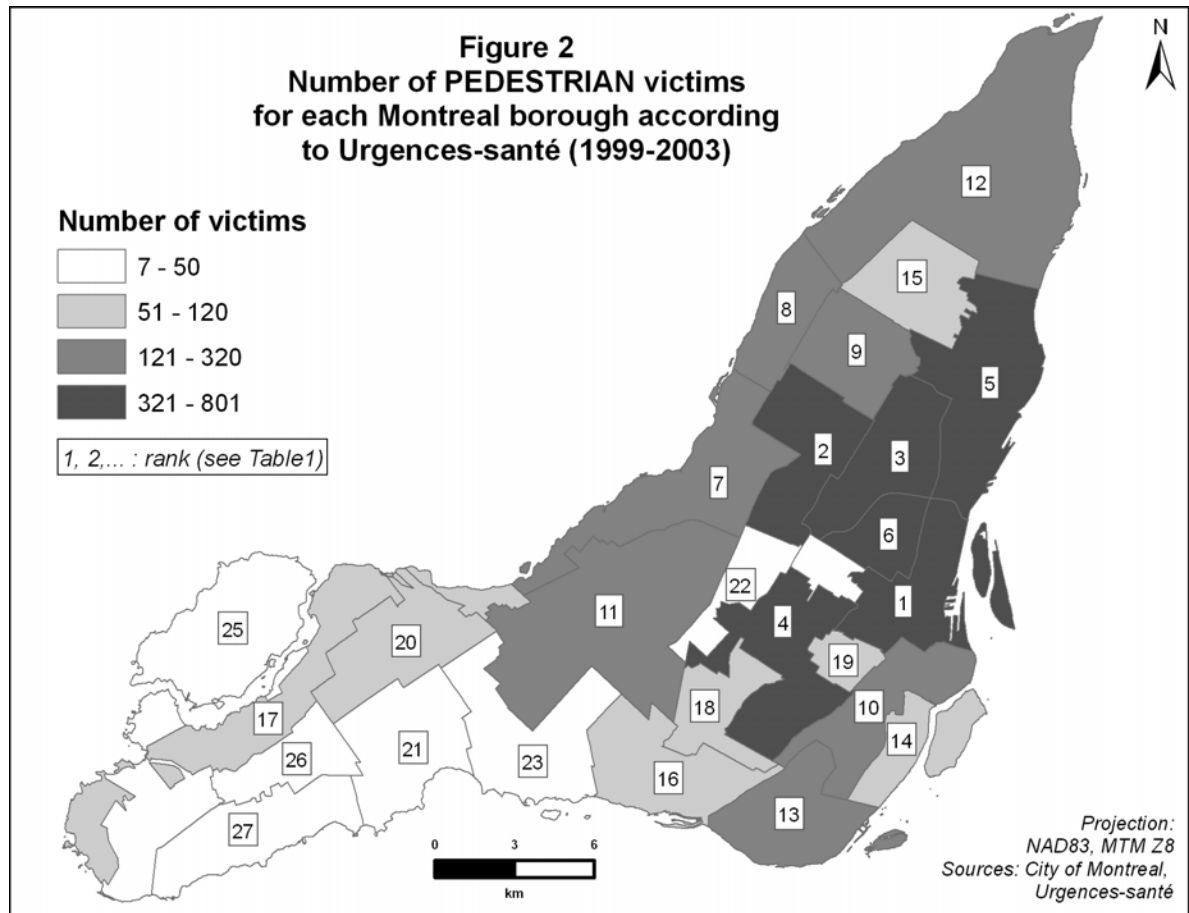
**Figure 1: a) Distribution of injured pedestrians at or between INTERSECTIONS (1999-2003). b) BLACK SPOTS in Montreal (1999-2003) according to Urgences-santé**

**Figure 1**

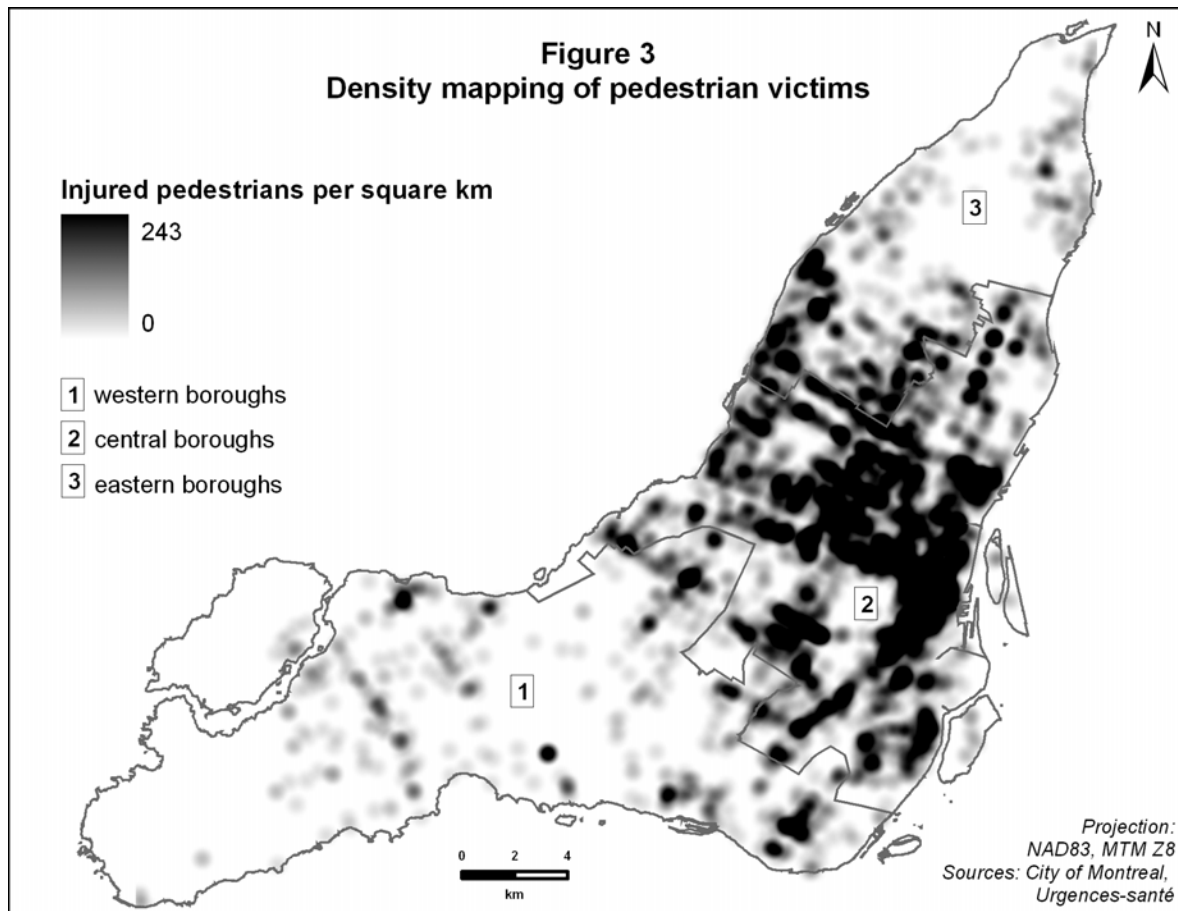
**a) Distribution of injured pedestrians at or between INTERSECTIONS (1999-2003)**  
**b) BLACK SPOTS in Montreal (1999-2003) according to Urgences-santé**



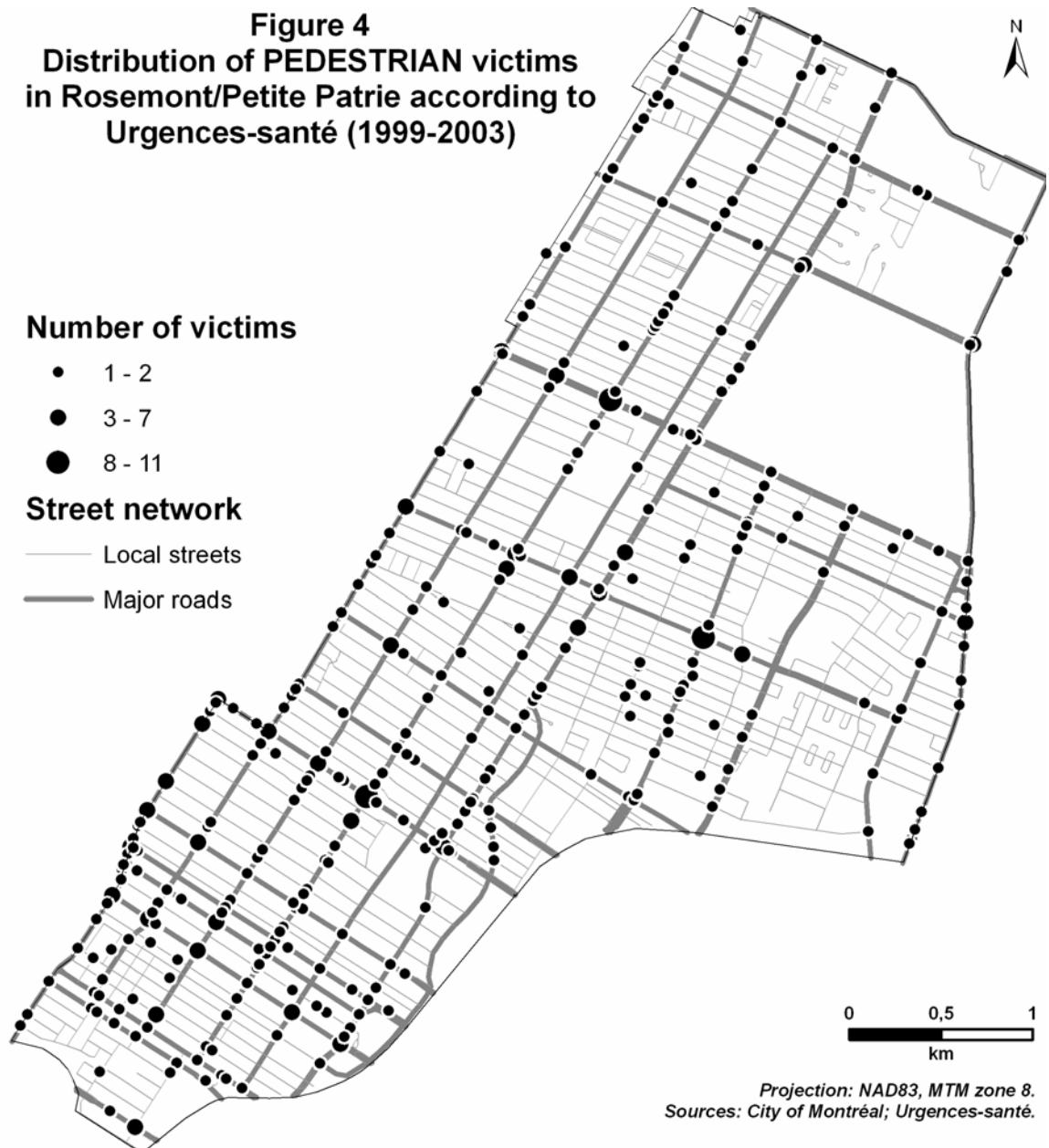
**Figure 2: Number of PEDESTRIAN victims for each Montreal borough according to Urgences-santé (1999-2003)**



**Figure 3: Density mapping for pedestrian victims**



**Figure 4: Distribution of PEDESTRIAN victims in Rosemont/Petite Patrie according to Urgences-santé (1999-2003)**



## TABLES

Table 1 : Descriptive indicators (1999-2003)

	Injured pedestrians	Black spots	Intersections with at least one injured pedestrian	
			<i>Number</i>	<i>Percent</i>
<b>Montreal Island</b>	<b>5082</b>	<b>22</b>	<b>1880</b>	<b>11%</b>
<b>Central boroughs (12)</b>	<b>3748</b>	<b>19</b>	<b>1391</b>	<b>17%</b>
<b>Eastern boroughs (4)</b>	<b>694</b>	<b>1</b>	<b>245</b>	<b>7%</b>
<b>Western boroughs (11)</b>	<b>640</b>	<b>2</b>	<b>244</b>	<b>4%</b>

*Sources: City of Montreal, Statistics Canada, Urgences-santé.*

Table 2: Number and proportion of intersections with at least one pedestrian victim according to period of observation

Period	Central boroughs intersections		Eastern boroughs intersections		Western boroughs intersections	
	<i>Number</i>	<i>Percent</i>	<i>Number</i>	<i>Percent</i>	<i>Number</i>	<i>Percent</i>
<b>1999</b>	367	4.5%	55	1.7%	68	1.0%
<b>1999-2000</b>	660	8.1%	104	3.1%	121	1.9%
<b>1999-2001</b>	937	11.5%	149	4.5%	163	2.5%
<b>1999-2002</b>	1165	14.3%	188	5.7%	204	3.1%
<b>1999-2003</b>	1391	17.1%	245	7.4%	244	3.8%

**APPENDIX OF ARTICLE 1 (available through Injury Prevention website)**

**Table 3: Descriptive indicators for each borough (1999-2003)**

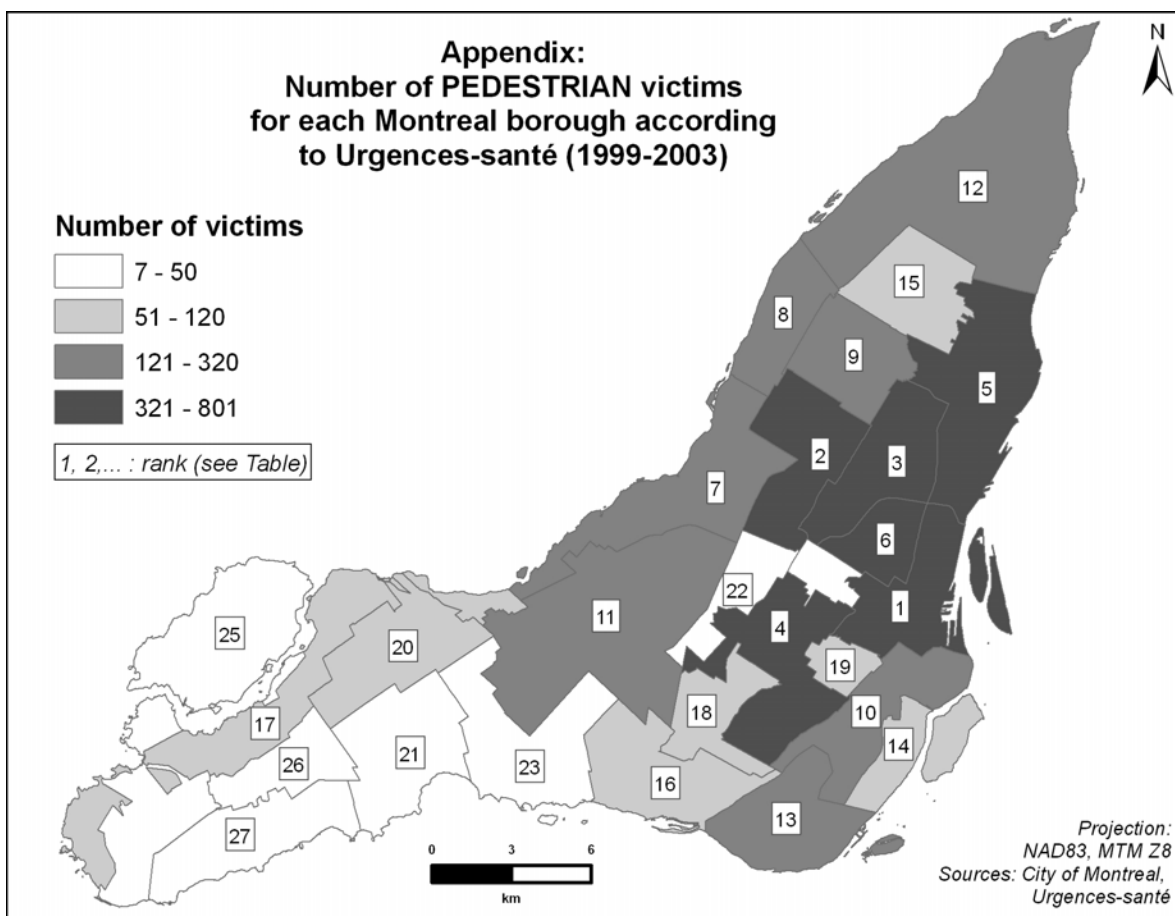
	Injured pedestrians		Black spots	Intersections with at least one injured pedestrian	
	<i>Rank see Figure</i>	<i>Number</i>	<i>Number</i>	<i>Number*</i>	<i>Percent</i>
<b>Montreal Island (27)</b>	-	<b>5082</b>	<b>22</b>	<b>1880</b>	<b>11%</b>
<b>Central boroughs (12)</b>	-	<b>3748</b>	<b>19</b>	<b>1391</b>	<b>17%</b>
Ville-Marie / Centre-Sud	1	801	5	268	24%
Villeray / Saint-Michel / Parc-Extension	2	534	3	179	22%
Rosemont / Petite-Patrie	3	483	3	193	26%
Côte-des-Neiges / Notre-Dame-de-Grâce	4	442	1	156	20%
Mercier / Hochelaga-Maisonneuve	5	385	4	147	13%
Plateau Mont-Royal	6	358	3	156	26%
Ahuntsic / Cartierville	7	315	-	127	11%
Sud-Ouest	10	193	-	76	11%
Verdun	14	116	-	50	16%
Westmount	19	57	-	27	12%
Mont-Royal	22	35	-	14	3%
Outremont	24	29	-	21	11%
<b>Eastern boroughs (4)</b>	-	<b>694</b>	<b>1</b>	<b>245</b>	<b>7%</b>
Montreal-Nord	8	281	1	103	15%
Saint-Léonard	9	193	-	58	8%
Rivière-des-Prairies / Pointe-aux-Trembles / Montreal-Est	12	143	-	62	4%
Anjou	15	77	-	28	7%
<b>Western boroughs (11)</b>	-	<b>640</b>	<b>2</b>	<b>244</b>	<b>4%</b>
Saint-Laurent	11	163	-	57	6%
Lasalle	13	123	2	48	7%
Lachine	16	65	-	26	5%
Pierrefonds / Senneville	17	62	-	28	3%
Côte-Saint-Luc / Hampstead / Montreal-Ouest	18	58	-	29	6%
Dollard-des-Ormeaux / Roxboro	20	55	-	28	3%
Pointe-Claire	21	44	-	16	3%
Dorval	23	33	-	7	2%
Ile-Bizard / Sainte-Geneviève / Sainte-Anne-de-Bellevue	25	16	-	5	1%
Kirkland	26	14	-	6	2%
Beaconsfield / Baie d'Urfé	27	7	-	4	1%

\* The sum of intersections in each borough might exceed the total number because some are located on the edges of two boroughs.

Sources: City of Montreal, Statistics Canada, Urgences-santé



**Figure 5: Number of PEDESTRIAN victims for each Montreal borough according to Urgences-santé (1999-2003)**





**CHAPITRE 6 - NEIGHBOURHOOD VARIATIONS IN THE EFFECT OF TRAFFIC**  
**VOLUME ON PEDESTRIAN, CYCLIST AND MOTOR VEHICLE OCCUPANT**  
**INJURIES (ARTICLE 2)**

Patrick Morency<sup>1</sup>, Lise Gauvin<sup>2,3,4</sup>, Céline Plante<sup>1</sup>, Michel Fournier<sup>1</sup>, Catherine Morency<sup>5</sup>,  
Marie-Soleil Cloutier<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal,  
Montréal, Québec, Canada

<sup>2</sup> Université de Montréal, Département de médecine sociale et préventive, Montréal,  
Québec, Canada

<sup>3</sup> CRCHUM, Centre de Recherche du Centre Hospitalier de l'Université de Montréal,  
Montréal, Québec, Canada

<sup>4</sup> Centre de recherche Léa-Roback sur les inégalités sociales de santé de Montréal,  
Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

<sup>5</sup> École Polytechnique de Montréal, Département des génies civil, géologique et des mines,  
Montréal, Québec, Canada

<sup>6</sup> INRS (Institut National de la Recherche Scientifique), Urbanisation, Culture et Société,  
Montréal, Québec, Canada

**ABSTRACT**

**INTRODUCTION:** Collisions between motor vehicles and pedestrians or cyclists represent a great public health burden. This study examines the effect of traffic volume and road geometry on the number of injured pedestrians and cyclists in an urban setting. To explore the possible influence of local policies, it also examines the extent of borough-level variations in the effects of traffic volume while controlling for residents socioeconomic position and transportation mode. **METHODS:** All pedestrians, cyclists and motor vehicles occupants (MVO) injured over a five year period for whom an ambulance was sent were included. Intersections (n=17 636) in a 482 km<sup>2</sup> urban area were characterized by the presence of major roads, their number of legs and traffic estimates, provided by a large random Origin-Destination survey combined with a traffic assignment model. The Canadian Census allowed for characterization of household income and commute travel modes. Event rate ratios (ERR) were estimated with multilevel Poisson regressions that nested intersections within 27 administrative boroughs. Separate analyses were conducted for each category of road users. **RESULTS:** For similar traffic volumes at the intersection level, the presence of a major road is associated with a rise in mean number of injured pedestrians (ERR=2.6 [95% CI: 2.3, 2.9]), cyclists (ERR=1.4 [95% CI: 1.3, 1.6]), and MVO (ERR=4.2 [95% CI: 3.9, 4.5]). The presence of a fourth leg is also associated with a greater number of injured pedestrians (ERR=3.8 [95% CI: 3.4, 4.2]), cyclists (ERR=2.4 [95% CI: 2.2, 2.7]), and MVO (ERR=4.8 [95% CI: 4.4, 5.3]). The proportion of people walking or cycling to work in a borough had a significant effect on the number of injured pedestrians and cyclists. The mean number of injured road users at intersections varied significantly across boroughs, with 95% plausible values ranging from 0.01 to 0.81 injured pedestrians, 0.02 to 0.60 injured cyclists, and 0.11 to 2.64 injured MVO at intersections.

The effect of an increase in 1 000 vehicles per day at intersections varied significantly across boroughs, for injured pedestrians (null to +23%), cyclists (null to +18%), and MVO (null to +35%). Taking into account traffic volume, the presence of major roads and four-legged intersections substantially reduced borough-level variations that nevertheless remained statistically significant. **DISCUSSION:** Traffic volume and road geometry explain a substantial portion of between-neighbourhood variation in rates of injured road users. Results show wide variation of the effect of traffic volume across municipal boroughs, a “borough effect” which could reflect different urban planning and transportation policies. Moving toward population-level intervention targets within local administrations might help reduce the substantial burden of road injuries in urban settings.

## INTRODUCTION

Collisions between motor vehicles and either pedestrians or cyclists represent an important public health burden (Peden et al., 2004). In the United States from 1999 to 2003, nearly 5 000 pedestrians and 700 cyclists died each year from their injuries, while 76 000 and 48 000 respectively suffered nonfatal injuries (Beck et al., 2007). Urban roads account for more than two-thirds (70.9%) of all pedestrian crash deaths in the U.S., most of whom are injured on arterial roads, streets with higher traffic-carrying capacity (NHTSA, 2008). Furthermore, there are significant inequalities in road crashes, injuries, and deaths across and within countries (Lu et al., 2005; Baker et al., 1991; NHTSA, 2008). For decades, poorer inner-city areas have been found to have higher rates of adult and child pedestrian injuries (Allard, 1982; Joly et al., 1991; Dougherty et al., 1990; Morency and Cloutier, 2006; Graham et al., 2005; Schuurman et al., 2009).

In urban settings, greater traffic volume is associated with higher pedestrian risk of injury (Garder, 2004; Ewing and Dumbaugh, 2009; Yiannakoulias et al., 2002) and is commonly reported as a perceived barrier to active transportation (Pikora et al., 2003) and children's outdoor play (Carver & al, 2008) that would increase physical activity and reduce the risk of obesity. Major roads and, consequently, traffic volume are unequally distributed across urban neighbourhoods, which then translates into differential exposure and health risks. Some authors have suggested that these risks are inordinately concentrated in economically deprived areas and thus more likely to affect vulnerable people. (Gunier et al., 2003; Green et al., 2004; Laflamme and Diderichsen, 2000, Laflamme & al., 2009). More importantly, although some data show that the presence of greater traffic volumes and road types is conducive to traffic in low income neighbourhoods, no data examine whether

or not traffic volumes represent equivalent risks across neighbourhoods. In other words, the inordinate burden of pedestrian and cyclist injuries in deprived neighbourhoods could be associated not only with greater traffic volume but also with a greater risk of injuries in poor than in wealthy neighbourhoods on streets with similar traffic volumes. This study examines the effect of traffic volume and road geometry on number of injured pedestrians and cyclists in an urban setting and explores the extent of borough-level variations in the effect of traffic volume while controlling for residents' socioeconomic characteristics.

### **Determinants of Road Casualties and Methodological Challenges**

Moving vehicles are the primary cause of road injuries (Haddon, 1995). Traffic volume reflects the level of exposure to accidents, that is, “the amount of opportunity for accidents” (Chapman, 1973; Peden et al., 2004). The level of exposure is the most likely explanation for the observed wide variation in fatality rates across high income cities (Mohan, 2008). For countries or other large regions, there is a strong relationship between level of exposure—measured by the global volume of vehicle kilometres travelled (VKT) or proxies like vehicle ownership or gasoline consumption—and road fatalities (Adams, 1987; Oppe, 1991; Kopits & Cropper, 2005). Data from East Germany illustrate this association: When traffic increased between 1989 and 1991, there was a fourfold increase in death rates of car occupants (Winston et al., 1999). In the United States, child pedestrian death rates have been shown to follow year-to-year variations in traffic volume (Roberts and Crombie, 1995; Roberts et al., 1992). A Scandinavian study showed that exposure to accidents, proxied by gasoline sales, accounts for 65% to 85% of the total variation in monthly injury accident counts (Fridström et al., 1995). Recently, large reductions in road fatalities in the United States have been attributed to reductions in distances driven (Sivak, 2009).

Ecological studies provide useful information on the influence of factors like urban sprawl (Ewing et al., 2003), population density (Joly et al., 1991; Lascala et al., 2004) and socio-economic inequalities (Dougherty et al., 1990; Joly et al., 1991) on the distribution and rates of road injuries. In urban areas, macro-level collision prediction models have also shown a strong influence of traffic volume. In American cities, each 1 percent increase in per capita annual vehicle mileage is associated with a 1 percent increase in traffic fatalities (Ewing and Dumbaugh, 2009; Litman and Fitzroy, 2009); in San Francisco, a 10% increase in census-tract traffic volume is associated with an approximate 7% increase in vehicle-pedestrian injury collisions (Wier et al., 2009). Unfortunately, this important determinant of road casualties is not always included in area-level analyses (Sebert Kuhlmann et al., 2009; Graham and Glaister, 2003; Graham et al., 2005; Priyantha Wedagama et al., 2006). In the absence of data on traffic volume, the presence of major roads has been used as a proxy measure of risk of collision, as has population size and density of employment as measures of “activity” that generate traffic (Joly et al., 1991; Graham and Glaister, 2003). Nonetheless, urban areas with greater traffic density, proportionately more major roads, or more traffic-generating activities have been found to have higher incidences of injured pedestrians and cyclists (Wier et al., 2009; Yiannakoulis et al., 2002; Joly et al., 1989). Recent studies have reported that traffic volume and urban arterial roads are independently associated with greater incidence of road injuries within a neighbourhood (Lovegrove and Sayed, 2009; Dumbaugh and Rae, 2009; Wier et al., 2009).

In these area-level studies, ecological fallacies cannot be excluded. That is, the aggregation of crashes and built environment characteristics at the area level precludes any conclusion on their association at the street level (Diez-Roux, 1998). For example, even if



census tracts with greater density of traffic volume and major roads have a higher incidence of injured pedestrians, it does not necessarily imply that within these CT more pedestrians are injured on major roads with greater traffic; many factors such as pedestrian itinerary or route choice could influence the distribution of injured pedestrians on the street network. In addition, since traffic volume estimates in a neighbourhood are usually derived from available traffic counts on major roads (Lovegrove and Sayed, 2009; Dumbaugh and Rae, 2009) the presence of a greater number of arteries and greater traffic volume might be confounded measures.

At the street or intersection levels, mathematical equations modelling the relationship between collision frequency and traffic volume—safety performance functions—usually show the strong effect of traffic volume (FHWA, 2004; AIPCR, 2003). For pedestrians, the inclusion of pedestrian volumes as a predictor improves collision prediction models (Lyon and Persaud, 2002). The mean number of pedestrian crashes at intersections is estimated to be approximately proportional to the square root of traffic volumes, although it also varies with pedestrian volume and intersection geometry (Lyon and Persaud, 2002; Lee and Abdel-Aty, 2005; Garder, 2004). For example, the likelihood of pedestrian injuries is higher on wider streets with medium or high average speed and at four-legged intersections (Garder, 2004; Lyon and Persaud, 2002; Ewing and Dumbaugh, 2009). Unfortunately, available data are limited to either small samples of collisions, which represent only a tiny fraction of potential collision sites, or larger samples that are restricted to signalized intersections at major roads where traffic counts are available. Nowadays, the availability of geographic information systems (GIS) provides an opportunity for disaggregated analysis of crash sites for entire neighbourhoods (Richards et al., 1999; Lightstone et al., 2001; Morency and Cloutier, 2006; Pulugurtha et al., 2007; Schuurman et

al., 2009). Yet, to our knowledge, no disaggregated studies on the impact of traffic volume on road injuries have included traffic data for an entire road network in a large urban area. A recent study has included all major intersections from an entire area but it was limited to a small community in central Boston (Brugge, 2002). This is an important gap since road safety in urban settings is an area-wide problem not limited to high-risk intersections (Morency and Cloutier, 2006; Pulugurtha et al., 2007).

Variations in the implementation of traffic calming features — an effective strategy for reducing the risk of road injuries (Tester et al., 2004; Elvik, 2001; Jones et al., 2005; Zein et al., 1997; King et al., 2003; Leden et al., 2006) — have been linked to the influence of local politicians (Lyons et al., 2006). Since municipal authorities often have control over local transportation planning and implementation of traffic calming measures, examining the distribution of traffic and major roads across and within neighbourhoods appears to be a promising approach to identify targets for population-level interventions aimed at preventing collisions between motor vehicles and pedestrians or cyclists as well as providing safe active transportation.

### **The Current Investigation**

The widespread distribution of injured pedestrians and cyclists in densely populated urban areas (Morency and Cloutier, 2006; Morency and Cloutier, 2005) justifies the adoption of a population approach (Rose, 1992) to understand determinants of collisions between motor vehicles and pedestrians or cyclists. To avoid the ecological fallacy in drawing inferences, the relationship between crash locations and characteristics like traffic volume and road design should be examined at the street level rather than with aggregated analyses of crashes over areas. Therefore this study examines the effect of traffic volume

and road geometry on the number of injured pedestrians and cyclists in an urban setting and explores the extent of borough-level variations in the effect of traffic volume while controlling for residents' socioeconomic position and mode of transportation. Our study improves on existing research by using traffic volume estimates derived from a travel survey and available for the entire urban area. Furthermore, it explores possible variations in the association of injuries to traffic volume across neighbourhoods.

## **METHODS**

The urban area under study, the Island of Montreal, is the core of the Montreal metropolitan area where nearly half of the population of the province of Québec lives. In 2001, this 482 km<sup>2</sup> territory had of a population of 1.8 million people and was composed of 27 administrative boroughs. Boroughs are responsible for minor road design, repair and improvements, while the city manages arterial roads, on which vehicle circulation is optimized. The 27 boroughs are further subdivided into 521 census tracts (CT); the mean and median area of Montreal's CTs are respectively 0.96 km<sup>2</sup> and 0.49 km<sup>2</sup>.

### **Traffic Volume**

Since direct traffic counts, which provide annual average daily traffic (AADT), are available only for a subset of intersections, the data source for estimates of traffic volume was the Montreal 1998 origin-destination (O-D) survey, a travel survey implemented for transportation planning purposes which covers the whole metropolitan area (Island of Montreal and surrounding suburbs) and reaches 65 227 households (approximately 5% of the residing population) (AMT, 2005). Study data such as geographical coordinates of origins and destinations (O-D), trip purposes, detailed sequences of modes of transport

used, times of departure are used to construct a representative portrait of trips made by metropolitan area residents during a typical weekday of fall. A traffic assignment model identifies plausible routes in the road network. The number of vehicles (load profile) on a week day for every road segment in Montreal was averaged within each CT, for each of the four road types (local streets, collector roads, minor and major arterial roads). Estimates of the average daily traffic volumes on Montreal roads obtained in this way were then added up for each intersection to estimate traffic volume at the intersection. These estimates were strongly correlated ( $r=0.61$ ) with the AADT estimates from three-hour traffic counts at 517 intersections provided by the City of Montreal. The analyses included 17 636 intersections, after the exclusion of complex intersections—connected to expressway accesses ( $n=258$ ) or with traffic volume estimates greater than 80 000 vehicles/day ( $n=54$ ).

### **Street Type, Number of Legs per Intersection**

Montreal's hierarchical street network was used to categorize roads into minor roads (local streets and collector roads) and major roads (minor and major arterial roads) (City of Montreal, 2004). A spatial junction of the street network with buffers (15 meters) surrounding intersections (ArcInfo v9.1) provided the number of legs per intersection.

### **Usual Transportation Modes in Boroughs and Household Income Level**

Extraction of data from the 2001 Canadian Census provided information on household income and on commute travel modes (Statistics Canada, 2002). The proportion of people walking or cycling to get to work were used as proxies for pedestrian and cyclist volumes. Residents' average household income was used to form three groups of 9 boroughs (tertiles).

### **Sample of Injured Persons**

All road users injured on the island of Montreal between January 1, 1999 and December 31, 2003 for whom an ambulance was sent were included in this study (Morency and Cloutier, 2005). The only ambulance service in Montreal (Urgences-santé Corporation), provided access to their calls and reports data. Events for which both the incoming calls and the pre-hospital intervention reports indicated road trauma – an injury attributable to a motor vehicle collision - were included in the study (n=39 098). We excluded duplicate calls or reports (n=125), pedestrian falls (n=688), incomplete reports (n=124) and events with missing geographic coordinates (n=318), which represented 3% of initially reported events<sup>30</sup>. In addition, injured motorcyclists (n=1 080) were not considered for the current analysis. Among the 36 763 injured people, analysis focused on the 21 224 (58%) road users injured at intersections. After the exclusion of 312 complex intersections, 3 105 pedestrians, 2 687 cyclists, and 14 232 MVO were retained for the analysis.

### **Mapping the Location of Collisions**

Collision sites were mapped onto the road network using ArcGIS.<sup>31</sup> Montreal's hierarchical street network (called *geobase*) was used to assign locations to intersections located within a 15-metre radius.

### **Statistical Analysis Strategy**

Descriptive analyses were performed using SPSS v11. Intersections were grouped according to traffic volume (quintiles), the presence of major roads (vs. absence) or four legs (vs. three). To examine the associations between exposure variables and number of injuries, we examined plots of associations across the 27 boroughs and conducted exploratory locally weighted least square regression analyses (i.e. LOESS) (Cleveland &

Devlin, 1988; Stata/SE 9.2). Then, using the chi-square test for linearity, we searched for the presence of significant univariate trends between exposure variables (i.e. traffic volume, presence of a major road, and proportion of residents using active transportation to get to work) and number of injuries (i.e. pedestrian, cyclist, MVO).

Finally, a multilevel Poisson regression that nested the 17 636 intersections within the 27 boroughs was used to determine whether or not there were associations between exposure variables and outcomes (ERR: event rate ratios), and to assess whether or not there was a statistically significant variation in the effect of traffic volume across neighbourhoods. Hierarchical Linear Modeling software v. 6.04 (Raudenbush & al., 2002) was used. A first null model was estimated which allowed for the computation of plausible value ranges (PVR) — or the extent of variation in the number of injured road users across boroughs. Baseline models (Model 1) included only traffic volume at the intersections as a predictor, while the presence of major roads and four-legged intersections (Model 2), residents' modes of transportation to get to work (Model 3), and household income level (Model 4) were added in the increasingly complex models. The final model form used for the analyses nesting the intersections (Level-1) within boroughs (Level-2) is, for pedestrians:

$$\text{Level-1 Model : } P_{ij} = e^{(\beta_0 + \beta_1(T) + \beta_2(M) + \beta_3(L))}$$

Level-2 Model :

$$\beta_0 = \gamma_{00} + \gamma_{01}*(PRWALK) + \gamma_{02}*(N3\_POV1) + \gamma_{03}*(N3\_MID1) + u_{0j}$$

$$\beta_1 = \gamma_{10} + u_{1j}$$

where  $P$  is the predicted number of injured pedestrians per intersection;  $T$  is traffic volume,  $M$  is equal to 1 for intersections with major road(s);  $L$  is equal to 1 for four-legged intersections;  $PRWALK$  is the proportion of people walking to get to work;  $N3\_POV1$  and  $N3\_MID1$  are the dummy variables for the poorest and middle tertiles of residents' average household income;  $u_{0j}$  represents between borough variance in intercept ;  $u_{1j}$  represents between borough variance in the random effect of traffic volume. The traffic variable was centred at 500 vehicles per day to make the intercept ( $\gamma_{00}$ ) easier to interpret. Reference categories for intersections with major road(s) and four-legged intersections are intersections with only minor roads and three-legged intersections, respectively.

## RESULTS

An equal proportion of males (50%) and females (50%) was injured, overall, but there was a greater proportion of males among injured cyclists (68%) than among injured pedestrians (47%) or MVO (47%). The mean age of injured road users was 36.8 years old. Injured cyclists (31.4) were, on average, younger than injured pedestrians (39.2) and MVO (37.2). Nearly a fifth of injured pedestrians (18%) and cyclists (22%) but only 6% of injured MVO were school aged children (5 to 17 years old). Older people (65 years old or more) represented 18% of injured pedestrians, 4% of cyclists, and 9% of MVO.

Although there are major roads at approximately only one sixth (18%) of the island's intersections, 63% ( $n=1\ 961$ ) of pedestrians, 46% ( $n=1\ 247$ ) of cyclists, and 70% ( $n=9\ 941$ ) of MVO were injured at intersections with major road(s). Two fifths (41%) of intersections have four legs, and 84% of pedestrians, 75% of cyclists, and 87% of MVO were injured at these intersections. Nearly half (48%) of all intersections had an average

daily traffic volume of under 1 000 vehicles. When there was a major road at an intersection, however, median and mean traffic volumes were 13 002 and 16 463 vehicles per day, respectively.

The mean number of injured road users increased steeply with traffic volume (TV) at intersections with major road(s) and four legs (Table 1). The mean number of injured pedestrians, cyclists, and MVO were respectively 60, 15, and 39 times greater at intersections with the highest TV (fifth quintile) than among those with the lowest TV (first quintile). Associations between the number of injured road users and traffic quintiles, road types, and four-legged intersections are statistically significant for all three types of road users (Chi-Square tests for linearity,  $p < 0.001$ ). Figure 1 illustrates the effect of both traffic volume and major road(s): the mean number of injured pedestrians, cyclists, and MVO were respectively 153, 38, and 125 times greater at intersections with the highest TV and only major roads than at those with the lowest TV and only minor roads.

The intraclass correlation coefficient (ICC) provided information about the proportion of total variance (sum of between-borough and within-borough variations) that is between boroughs (level 2); it was found to be 35% (pedestrians), 35% (cyclists), and 7% (MVO) in the null models. Furthermore, model comparison tests based on respective deviance statistics showed statistically significant variations ( $p < 0.001$ ) in the effect of traffic volume ( $\beta_{1j}$ ) across boroughs for all models. All subsequent modeling therefore included two random effects, one for the intercept and another for the effect of traffic volume. The multivariate analysis showed that, on average, an increase of 1 000 vehicles per day in traffic volume at intersections is associated with a greater number of injured pedestrians (ERR=1.05 [95% CI: 1.04, 1.07]), cyclists (ERR=1.06 [95% CI: 1.04, 1.07]),



and MVO (ERR=1.06 [95% CI: 1.04, 1.07]) (Table 2, models 4). When traffic volume is controlled, the presence of a major road at an intersection is associated with a higher number of injured pedestrians (ERR=2.6 [95% CI: 2.3, 2.9]), cyclists (ERR=1.4 [95% CI: 1.3, 1.6]), and MVO (ERR=4.2 [95% CI: 3.9, 4.5]). Similarly, a fourth leg is associated with a greater number of injured pedestrians (ERR=3.8 [95% CI: 3.4, 4.2]), cyclists (ERR=2.4 [95% CI: 2.2, 2.7]), and MVO (ERR=4.8 [95% CI: 4.4, 5.3]).

There are significant and positive associations between the proportion of residents walking or cycling to work in a borough and the number of injured pedestrians and cyclists at its intersections (Table 2). For example, in model 4, each 1% increase in the percentage of people walking to work in a neighbourhood is associated with a 3.5% [95% CI: 0.8%, 6.3%] increase in the number of pedestrians injured at its intersections. The proportion of residents in a borough who go to work by car was not significantly associated with the number of MVOs injured at its intersections ( $p=0.06$  in model 3;  $p=0.67$  in model 4). Other factors being equal, the boroughs with the most affluent residents (first tertile) tend to have lower numbers of people injured at intersections but not all associations are statistically significant. Compared to the richest boroughs, there are significantly more pedestrians (ERR=2.3 [95% CI: 1.4, 3.8]) and cyclists (ERR=2.1 [95% CI: 1.3, 3.4]) injured at intersections in boroughs with the lowest mean household income level.

### **Variations in associations with exposure variables across boroughs**

Across the 27 boroughs, there are wide variations in the mean number of injured people and in traffic volume at intersections (Table 3; Figure 2). Mean traffic at intersections varied from a minimum of 1 074 vehicles per day to a maximum of 12 810 vehicles per day, with the central boroughs having the greatest traffic volumes. The

proportion of intersections that included a major road or had four legs varies from 1% to 42% and from 14% to 68%, respectively. Across boroughs, from 1% to 40% of residents walked to work, from 0% to 7% of cycled to work, and from 29% to 87% go to work by car.

The LOESS regression analysis showed an almost linear traffic-to-injury relationship that varied in slope across boroughs. Figure 3 illustrates the relationships for pedestrians and MVO across the three groups of household income level. The impact of traffic seems “attenuated” in the wealthiest boroughs: first, for all three types of road users (cyclists not shown), at every level of traffic volume, the mean number of injured people is lower at intersections in richest boroughs. Secondly, the LOESS regression analysis suggested a variation in slopes across boroughs, which means that the rate of increases in injuries per increment of traffic volume also varies.

Multilevel analyses indicated that the traffic-to-injured road users relationship varied significantly across boroughs. (Table 4). The 95% plausible value range (PVR) established from the null model shows that the mean number of injured road users at an intersection varies from 0.01 to 0.81 injured pedestrians, from 0.02 to 0.60 injured cyclists and from 0.11 to 2.64 injured MVO across boroughs. Taking into account traffic volume, the presence of major roads and four-legged intersections (models 2) explained 54%, 39%, and 60% of between boroughs variation of the mean number of injured pedestrians, cyclists, and MVO. In the final models, these variances decreased by 80% for pedestrians, 74% for cyclists, and 64% for MVO.

The 95% PVR established from models 1 show that the effect of an increase in traffic also varies across boroughs. At the lower end of the PVR, an increase of 1 000 vehicles per day is not associated with an increase in the mean number of injured road users; at the upper end of the PVR, it is associated with higher numbers of injured pedestrians (+23%), cyclists (+18%) and MVO (+35%). In the second set of models (i.e. Model 2), which takes into account intersection geometry, these variances are reduced by 76% for pedestrians, 52% for cyclists, and 85% for MVO. In the final models, statistically significant variations of the effect of traffic across boroughs remained unaccounted for by the variables included in the models (Table 4, Model 4).

## DISCUSSION

This study examines the effect of traffic volume and road geometry on the number of injured pedestrians and cyclists in an urban setting and explores the extent of borough-level variations in the effect of traffic volume while controlling for socioeconomic characteristics of areas. Some essential factors explaining the magnitude of pedestrian and cyclist injuries were taken into account: exposure to traffic, the presence of major roads—reflecting car priority in road design and four-legged intersections—which increase the likelihood of conflicts between road users, and proxies for the amount of walking and cycling. Results show that traffic volume, the presence of major roads, and four-legged intersections jointly increase the risk of crashes at intersections for all types of road users. The multilevel analysis showed great variation in the effect of traffic volume across boroughs—a “borough effect”. Such a variation of risk across boroughs could reflect different urban planning and transportation policies.

### Strengths

In this study, intersections are the primary level of analysis. The multilevel analysis nested intersections within boroughs so that spatial variation could be taken into account (Diez-Roux, 1998). Furthermore, instead of census boundaries (Wier et al., 2009; Sebert Kuhlmann et al., 2009; Dumbaugh and Rae, 2009; Lovegrove and Sayed, 2009), English wards (Graham and Glaister, 2003) or a buffer area around schools (Clifton and Kreamer-Fults, 2007), neighbourhood delimitations were actual boroughs for which there is some control over street network interventions such as implementation of traffic calming schemes.

This study avoided the typical sampling bias of studies limited to high risk intersections (Morency and Cloutier, 2006; Elvik, 1997; Jacobsen, 2006) or to sites with available traffic counts (Lee and Abdel-Aty, 2005; Garder, 2004; Lyon and Persaud, 2002). Inspired by a population approach (Rose, 1992; Kindig and Stoddart, 2003), it encompasses an entire urban area, including nearly eighteen thousand intersections providing a large spectrum of exposures to traffic. A complete distribution of injured pedestrians, cyclists and MVO, and of some exposure variables could thus be reported for all intersections.

While area-level studies covering metropolitan areas have reported significant associations between road injuries and aggregated traffic volume, major road density or percentage of four-legged intersections (Joly et al., 1991; Yiannakoulias et al., 2002; Ewing, 2009; Wier et al., 2009; Lovegrove and Sayed, 2009; Dumbaugh and Rae, 2009) a disaggregated analysis was required to study their specific effect at the intersection level.

### **Variations in the number of injured road users at intersections**

A strong relationship between crashes and traffic flow has been consistently reported, both at the area-level (Lascaia et al., 2004; Wier et al., 2009; Ewing, 2009; Lovegrove and Sayed, 2009) and at the street-level (Garder, 2004; Lee and Abdel-Aty, 2005; Lyon and Persaud, 2002). In the current study, other factors being equal, an increase of 1000 vehicles per day at an intersection was associated with similar increases (5% to 6%) in the volume of injured pedestrians, cyclists and MVO. Since published studies have considered either only one type of road user or all users combined, this study adds to the literature by treating three different types of road users.

In our study, road type and number of legs were used to represent different micro-environments. As reported elsewhere, a large share of road injuries occur on major roads or at intersections with a major road (Morency and Cloutier, 2006; NHTSA, 2008; Schuurman et al., 2009). Arterials have already been associated with increased rates of road injury, in both street-level and area-level studies (Garder, 2004; Lovegrove and Sayed, 2009; Dumbaugh and Rae, 2009; Graham and Glaister, 2003). However, several different mechanisms could explain this greater risk, including higher vehicle speeds and wider roadways (Garder, 2004; Ewing and Dumbaugh, 2009; Dumbaugh and Rae, 2009). In our study, results showed that the greater risk posed by major roads is independent of the effects of traffic volume and the presence of four-legged intersections. An increase in the number of access points along a roadway is associated with higher crash rates (FHWA, 2004). In general, there are more conflict points, crashes and injuries at four-legged intersections than at T-intersections (Ewing, 2009; Lyon and Persaud, 2002; Dumbaugh and Rae, 2009). In some Montreal boroughs, up to two thirds (68%) of intersections have four legs. While the better connectivity provided by traditional gridiron street networks improves neighbourhood walkability (Boer & al., 2007), our study show that four-legged intersections pose traffic hazards to both motorized and non-motorized road users.

The number of people walking or cycling has a direct impact on the public health burden of pedestrian and cyclist injuries. Californian cities with twice as many people walking have a 33% increase in the overall number of injured pedestrians (Jacobsen, 2003). According to three models developed in Toronto (Canada), England and Sweden, doubling pedestrian volumes at intersections would increase pedestrian crashes by 67%, 44% or 65%, respectively (Lyon and Persaud, 2002; Garder, 2004). In our study, when other factors were taken into account (models 4), the mean number of pedestrians injured at

intersections increases by 41% in boroughs where 20% of residents walk to work, compared to boroughs where only 10% of residents use this mode of transportation. Doubling the proportion of residents cycling to work, from 1% to 2% for example, is associated with a 21% increase in the mean number of injured cyclists at intersections. Thus, even if individual risk might be lower when there are more pedestrians and cyclists (Jacobsen, 2003; Leden, 2002), more people exposed to crashes translates into more injuries.

In the final multivariate models (models 4), borough residents' socioeconomic level remains significantly associated with road injuries at intersections. Recent ecological studies that include land use and population characteristics as predictors of pedestrian (Wier et al., 2009) or all road user (Dumbaugh and Rae, 2009) injuries also found a significant negative association between household income level and injury. It should be remembered, however, that poverty *per se* does not produce road injuries. According to Macintyre, there is a need to investigate possible explanations, "pathways through which people's health might be promoted or damaged by their local area" (Macintyre & Ellaway, 2000). These pathways may involve differential exposures and susceptibility, local regulation, and policies (Lyons & al., 2006; Laflamme & al., 2009). In Montreal, urban environment safety for pedestrians and cyclists has been positively associated with neighbourhood affluence (Gauvin & al., 2005). The consistently lower rates of injured pedestrians, cyclists and MVOs at intersections in the richest boroughs strongly support the hypothesis of environmental causes such as safer roadway design in more affluent areas.

**Variations in the effect of traffic volume across boroughs**

Even studies that included intersections from many counties or hundreds of geographical units from different communities have taken for granted a constant traffic–injury relationship within the studied area (Lee & Abdel-Aty, 2005; Lascala & al., 2004; Yiannakoulias & al., 2002; Wier & al., 2009; Lovegrove & Sayed, 2009). This multilevel analysis shows that the effect of traffic volume on pedestrian, cyclist, and MVO injuries at intersections varies significantly across areas. In the first models (Model 1), which include traffic volume as the only predictor, the average number of road users injured at intersections with 500 vehicles a day is much higher in some boroughs than in others: in fact, it is 41, 37, and 31 times higher for pedestrians, cyclists and MVO, respectively. The impact of increases in traffic volume also varies considerably across boroughs (Table 4). These variations are partly explained by the presence of major roads, four-legged intersections, and proxies of pedestrian and cyclist volumes, but remain significant when these factors are taken into account. Similar results (not shown) were observed for school aged children (Morency & al., 2009). Such spatial variations in the effect of traffic volume may reflect variations in intersection geometry (e.g. roadway width), patterns of contributory flows, speed limits, and presence and type of crosswalk or signal, among others. (Hauer et al., 1988; Garder, 2004; Ewing and Dumbaugh, 2009; FHWA, 2004). Spatial variation is also likely to be related to different “shortcut capacities” in a grid-like street network (Lovegrove and Sayed, 2009) and traffic calming policies (Jones et al., 2005; Grundy, 2009), which are under borough jurisdiction. Further studies should try to obtain some measure of local transportation policies, either through interviews, documented analyses or environmental observations.



## Limits

Traffic counts are rarely available for entire road networks or areas. In our study, a large random Origin-Destination survey covering the whole metropolitan area, combined with a traffic assignment model, provided traffic estimates for all the city's roads. Since only origin and destination points are gathered during the survey, plausible paths were estimated using assignment procedures. It is hence possible that estimated paths differ from the real path used by a particular individual for a specific trip. Still, the overall load profile is plausible and represents optimal routes selection for the millions of trips performed daily in the Montreal Region. Due to the inherent limits of those estimates at a finer geographic scale, traffic volumes were averaged for the different road types in the city's 521 CTs. Besides, estimates of pedestrian and cyclist activity at intersections were not available. Further studies should obtain true traffic counts for large unbiased samples of streets and intersections and include intersection – level estimates of pedestrian and cyclist volumes.

Unlike other studies (Clifton and Kreamer-Fulfs, 2007; Wier et al., 2009; Sebert Kuhlmann et al., 2009; Lascala et al., 2004; Joly et al., 1991; Priyantha Wedagama et al., 2006), ours did not consider land use and population characteristics such as commercial access, mixed used, liquor license outlets, age groups and ethnicity to explain neighbourhood rates of road user injuries. As reported elsewhere (Victoria et al., 1997; Miranda-Moreno & al, 2010), the inclusion of the latter variables in a single multivariate analysis may underestimate the true impact of traffic and pedestrian volumes, since the influence of these parameters are partly mediated through car trips generated or pedestrian activity. At the intersection level, however, it would be quite appropriate to include more environmental measures of roadway characteristics (Ewing and Dumbaugh, 2009; Garder,

2004; FHWA, 2004) that could explain the variations observed at intersections in different boroughs.

### **Implications for prevention**

Reducing the risk to which pedestrians and cyclists are exposed requires strategies at different administrative levels (Mohan & al., 2006). Reducing overall traffic volume in an urban area is a metropolitan issue that could be addressed through, for instance, reducing road capacity, improving public transit, and coordinating land use planning and transportation (Vuchik, 1999; Woodcock et al., 2009). Local administrations also have a certain amount of power to alter or mitigate the risk of crashes through specific road design, decisions to allow through traffic or not, or implement traffic calming schemes (Lyons and Jones, 2006; Mindell et al., 2004). Considering the great burden of illness associated with car-oriented transportation (Litman, 2003; Woodcock et al., 2009), especially in densely populated urban cores, the best local practices should be benchmarked and disseminated.

## CONCLUSION

Based on the current findings, we conclude that traffic volume and road geometry are major determinants of the number of road injuries at an intersection. These environmental determinants explain a substantial portion of the variation in rates of injured pedestrians, cyclists and motor vehicle occupants across areas. Furthermore, there is a large variation in the effect of traffic volume across urban boroughs, thus showing the presence of a “borough effect”. Given that traffic patterns and road design can be modified through municipal regulations and policies pertaining to motor vehicle traffic, these findings suggest that the burden of traffic injuries sustained by pedestrians and cyclists could be significantly reduced by acting on these regulations.

**REFERENCES**

- Adams, J. G. U. (1987). Smeed's Law: some further thoughts. *Traffic Engineering and Control, (Feb)*: 70-73.
- Agence Métropolitaine du Transport (2005). *Enquête Origine-Destination 2003, la mobilité, des personnes dans la région de Montréal : Faits saillants*.
- Allard, R. (1982). Excess mortality from traffic accidents among elderly pedestrians living in the inner city. *Am J Public Health, 72*: 853-854.
- Association Mondiale de la Route (AIPCR) (2003). *Manuel de la sécurité routière*. 602 p.
- 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, 16*: 212-218.
- Boer, R., Zheng, Y., Overton, A., Ridgeway, G.K., & Cohen, D.A. (2007). Neighborhood design and walking trips in ten U.S. metropolitan areas. *Am J Prev Med, 32(4)*: 298-304.
- Brugge, D., Lai, Z., Hill, C., Rand, W. (2002). *Journal of Urban Health, 79(1)*: 87-103.
- Carver, A., Timperio, A. F. & Crawford, D. A. (2008). Neighborhood road environments and physical activity among youth: the CLAN study. *J Urban Health, 85*: 532-544.
- Chapman, R. (1973). The concept of exposure. *Accid Anal Prev, 5*: 95-110.
- Clifton, K. J. & Kreamer-Fults, K. (2007). An examination of the environmental attributes associated with pedestrian-vehicular crashes near public schools. *Accid Anal Prev, 39*: 708-715.
- Diez-Roux, A. V. (1998). Bringing context back into epidemiology: variables and fallacies in multilevel analysis. *Am J Public Health, 88*: 216-222.
- Dora, C. (1999). A different route to health: implications of transport policies. *BMJ, 318*: 1686-1689.
- Dougherty, G., Pless, B., & Wilkins, R. (1990). Social Class and the Occurrence of Traffic Injuries and Deaths in Urban Children. *Can J Public Health, 81*: 204-209.
- Dumbaugh, E. & Rae, R. (2009). Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety. *Journal of the American Planning Association, 75*: 309-329.
- Elvik, R. (1997). Evaluations of road accident blackspot treatment: a case of the Iron Law of Evaluation Studies? *Accid Anal Prev, 29*: 191-199.

- Ewing, R. & Dumbaugh, E. (2009). The Built Environment and Traffic Safety: A Review of Empirical Evidence. *Journal of Planning Literature*, 23: 347-367.
- Ewing, R., Schieber, R. A., & Zegeer, C. V. (2003). Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. *Am J Public Health*, 93: 1541-1545.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2004). *Signalized Intersections: Informational Guide*. Report No. FHWA-HRT-04-091. U.S. Department of Transportation.
- Fridström, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., & Thomsen, L. K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accid Anal Prev*, 27: 1-20.
- Garder, P. E. (2004). The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine. *Accid Anal Prev*, 36: 533-542.
- Gauvin, L., Richard, L., Craig, C. L., Spivock, M., Riva, M., Forster, M. et al. (2005). From walkability to active living potential: an "ecometric" validation study. *Am J Prev Med*, 28: 126-133.
- Graham, D., Glaister, S., & Anderson, R. (2005). The effects of area deprivation on the incidence of child and adult pedestrian casualties in England. *Accid Anal Prev*, 37: 125-135.
- Graham, D. J. & Glaister, S. (2003). Spatial Variation in Road Pedestrian Casualties: The Role of Urban Scale, Density and Land-use Mix. *Urban Studies*, 40(8): 1591-1607.
- Green, R. S., Smorodinsky, S., Kim, J. J., McLaughlin, R., & Ostro, B. (2004). Proximity of California public schools to busy roads. *Environ Health Perspect*, 112: 61-66.
- 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: b4469.
- Gunier, R. B., Hertz, A., Von Behren, J., & Reynolds, P. (2003). Traffic density in California: socioeconomic and ethnic differences among potentially exposed children. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 13: 240-246.
- Haddon, W., Jr. (1995). Energy damage and the 10 countermeasure strategies. 1973. *Inj Prev*, 1: 40-44.
- Hauer, E., Jerry, C. N., & Lovell, J. (1988). Estimation of safety at signalized intersections. *Transportation Research Record* 1185, 48-61.
- Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Inj Prev*, 9: 205-209.
- Jacobsen, P. L. (2006). Why we fight about black spots. *Inj Prev*, 12: 356-357.

- Joly, M. F., Foggin, P. M., & Pless, I. B. (1991b). Geographical and socio-ecological variations of traffic accidents among children. *Soc Sci Med*, 33: 765-769.
- Joly, M. F., Foggin, P. M., Zvagulis, I., & Pless, I. B. (1989). Bicycle accidents among children in the urban environment. *Can J Public Health*, 80: 351-354.
- Jones, S. J., Lyons, R. A., John, A., & Palmer, S. R. (2005). Traffic calming policy can reduce inequalities in child pedestrian injuries: database study. *Inj Prev*, 11: 152-156.
- Kindig, D. & Stoddart, G. (2003). What is population health? *Am J Public Health*, 93: 380-383.
- King, M. R., Carnegie, J. A., & Ewing, R. (2003). Pedestrian Safety Through a Raised Median and Redesigned Intersections. *Transportation Research Record* 1828: 56-66.
- Kopits, E. & Cropper, M. (2005). Traffic fatalities and economic growth. *Accid Anal Prev*, 37: 169-178.
- Laflamme, L. & Diderichsen, F. (2000). Social differences in traffic injury risks in childhood and youth. A literature review and a research agenda. *Inj Prev*, 6: 293-298.
- Laflamme, L., Burrows, S., Hasselberg, M. (2009). *Socioeconomic differences in injury risks; A review of findings and a discussion of potential countermeasures*. World Health Organization 136 p.
- Lascaia, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. (2000). Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accid Anal Prev*, 32: 651-658.
- Lascaia, E. A., Gruenewald, P. J., & Johnson, F. W. (2004). An ecological study of the locations of schools and child pedestrian injury collisions. *Accid Anal Prev*, 36: 569-576.
- Leden, L. (2002). Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. *Accid Anal Prev*, 34: 457-464.
- 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: 455-461.
- Lee, C. & Abdel-Aty, M. (2005). Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida. *Accid Anal Prev*, 37: 775-786.
- Lightstone, A. S., Dhillon, P. K., Peek-Asa, C., & Kraus, J. F. (2001). A geographic analysis of motor vehicle collisions with child pedestrians in Long Beach,

- California: comparing intersection and midblock incident locations. *Inj Prev*, 7: 155-160.
- Litman, T. (2003). Integrating public health objectives in transportation decision-making. *Am J Health Promot*, 18: 103-108.
- Litman, T. & Fitzroy, S. (2009). *Safe Travels : Evaluating Mobility Management Traffic Safety Impacts*. Victoria, BC: Victoria Transport Policy Institute.
- Lovegrove, G. R. & Sayed, T. (2009). Macro-level collision prediction models for evaluating neighbourhood traffic safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(5): 609-621.
- Lu, T. H., Chiang, T. L., & Lynch, J. W. (2005). What can we learn from international comparisons of social inequalities in road traffic injury mortality? *Inj Prev*, 11: 131-133.
- Lyon, C. & Persaud, B. (2002). Pedestrian Collision Prediction Models for Urban Intersections. *Transportation Research Record 1818*: 102-107.
- Lyons, R. A., Jones, S. J., Newcombe, R. G., & Palmer, S. R. (2006). The influence of local politicians on pedestrian safety. *Inj Prev*, 12, 312-315.
- Macintyre, S., & Ellaway, A. (2000). *Ecological approaches: Rediscovering the Role of the Physical and Social Environment*, in Berkman, L.F., Kawachi, I. *Social Epidemiology*, New York: Oxford University Press, p. 332-348.
- Mindell, J., Sheridan, L., Joffe, M., Samson-Barry, H., & Atkinson, S. (2004). Health impact assessment as an agent of policy change: improving the health impacts of the mayor of London's draft transport strategy. *J Epidemiol Community Health*, 58(3):169-174.
- Miranda-Moreno, L.F., Morency, P., & El-Geneidy, A.M. (2010). *How does built environment influence pedestrian activity and pedestrian collisions at intersections?* Washington D.C., USA: Paper presented at the 89th Transportation Research Board Annual Meeting.
- Mohan, D. Tiwari, G., Khayesi, M., Nafukho, F. M. (2006). *Road Traffic Injury Prevention Training Manual*. Geneva: World Health Organization. 113 p.
- Mohan, D. (2008). Traffic safety and city structure: lessons for the future. *Salud Publica Mex*, 50 suppl 1:S93-S100.
- Morency, P. & Cloutier, M. S. (2005). *Distribution géographique des blessés de la route sur l'île de Montréal (1999-2003): Cartographie pour les 27 arrondissements*. Montréal : Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.

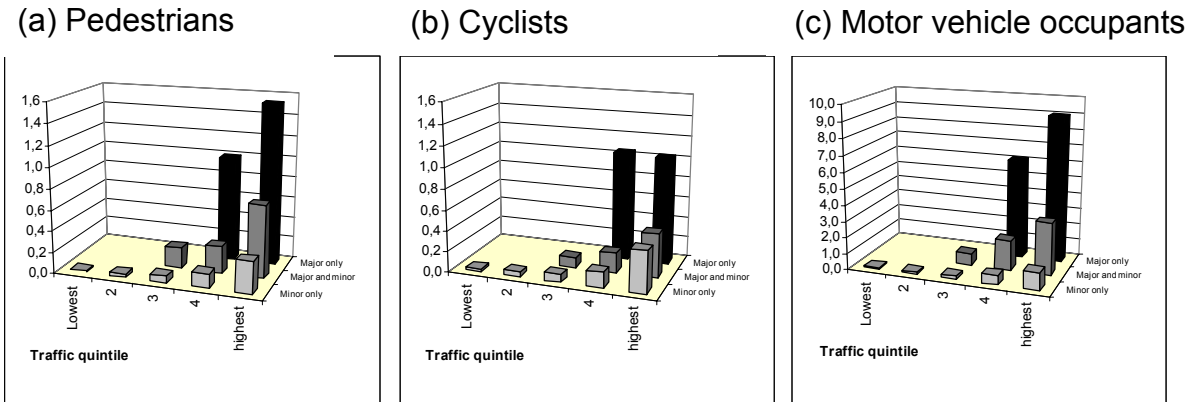
- Morency, P. & Cloutier, M. S. (2006). From targeted "black spots" to area-wide pedestrian safety. *Inj Prev*, 12: 360-364.
- Morency, P., Cloutier, M.S. & Plante, C. *Jeunes piétons et cyclistes : le risque posé par le volume de trafic et les artères*. 8<sup>e</sup> séminaire francophone international en promotion de la sécurité et en prévention des traumatismes. Montréal, 21 mai 2009.
- Morgenstern, H. (1982). Uses of ecologic analysis in epidemiologic research. *Am J Public Health*, 72: 1336-1344.
- National Highway Traffic Safety Administration. (2008). *National Pedestrian Crash Report - DOT HS 810 968*. U.S.Department of Transportation.
- Oppe, S. (1991). Development of traffic and traffic safety: global trends and incidental fluctuations. *Accid Anal Prev*, 23, 413-422.
- Peden, M., Scurfield, R., & Sleet, D. (2004). *Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation*. Genève : Organisation mondiale de la santé (OMS).
- Pikora, T. J., Giles-Corti, B., Bull, F. C., & Jamrozik, K. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Soc Sci Med*, 56: 1693-1703.
- Priyantha Wedagama, D. M., Bird, R. N., & Metcalfe, A. V. (2006). The influence of urban land-use on non-motorised transport casualties. *Accid Anal Prev*, 38: 1049-1057.
- Pulugurtha, S. S., Krishnakumar, V. K., & Nambisan, S. S. (2007). New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: an illustration. *Accid Anal Prev*, 39: 800-811.
- Raudenbush, S.W., Bryk, A. 2002. *Hierarchical Linear Models; Applications and Data Analysis Methods*. Second edition. Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences Series. Sage Publications, inc.
- Richards, T. B., Croner, C. M., Rushton, G., Brown, C. K., & Fowler, L. (1999). Geographic information systems and public health: mapping the future. *Public Health Rep*, 114: 359-360.
- Roberts, I. & Crombie, I. (1995a). Child pedestrian deaths: sensitivity to traffic volume, evidence from the USA. *J Epidemiol Community Health*, 49: 186-188.
- Roberts, I., Marshall, R., & Norton, R. (1992). Child pedestrian mortality and traffic volume in New Zealand. *BMJ*, 305: 283.
- Rose, G. (1992). *The strategy of preventive medicine*. Oxford Medical Publications.



- Schuurman, N., Cinnamon, J., Crooks, V. A., & Hameed, S. M. (2009). Pedestrian injury and the built environment: an environmental scan of hotspots. *BMC Public Health*, *9*: 233.
- Sivak, M. (2009). Mechanisms involved in the recent large reductions in US road fatalities. *Inj Prev*, *15*: 205-206.
- Statistics Canada (2002). *Population Census Minister of Industry*. Canada: Government of Canada.
- 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. *Am J Public Health*, *94*: 646-650.
- Victora, C. G., Huttly, S. R., Fuchs, S. C., & Olinto, M. T. (1997). The role of conceptual frameworks in epidemiological analysis: a hierarchical approach. *Int J Epidemiol*, *26*: 224-227.
- Vuchic, V. R. (1999). *Transportation for livable cities*. New Jersey: Center for urban policy research, University of New Jersey.
- 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. *Accid Anal Prev*, *41*: 137-145.
- Winston, F. K., Rineer, C., Menon, R., & Baker, S. P. (1999). The carnage wrought by major economic change: ecological study of traffic related mortality and the reunification of Germany. *BMJ*, *318*: 1647-1650.
- Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B. G., Ashiru, O., Banister, D. et al. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet*, *374*: 1930-1943.
- Yiannakoulias, N., Smoyer-Tomic, K. E., Hodgson, J., Spady, D. W., Rowe, B. H., & Voaklander, D. C. (2002). The spatial and temporal dimensions of child pedestrian injury in Edmonton. *Can J Public Health*, *93*: 447-451.
- World Health Organization. (2009). *Global status report on road safety: time for action*. 301 p.
- Zein, S. R., Geddes, E., Hemsing, S., & Johnson, M. (1997). Safety Benefits of Traffic Calming. *Transportation Research Record*, *1578*: 3-10.

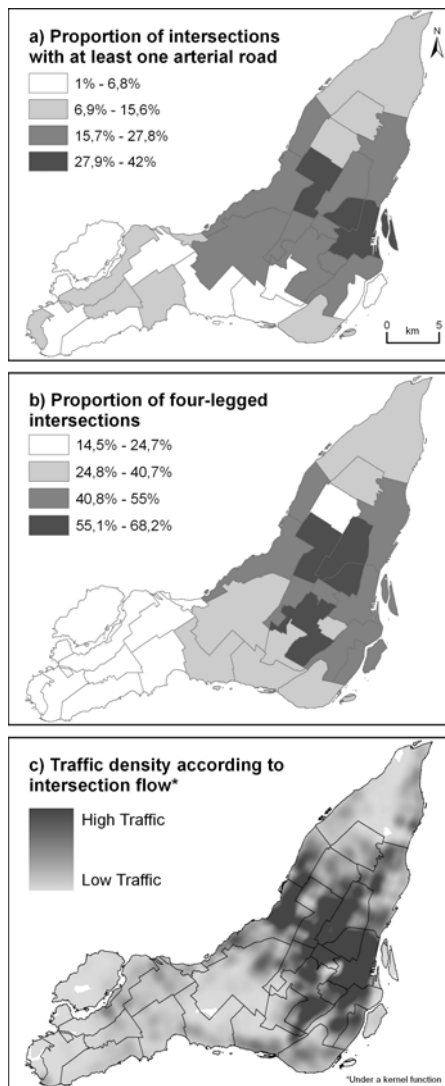
**FIGURES**

**Figure 1: Depiction of observed number of road users injured at 17 636 intersections as a function of traffic volume and road types at intersections**

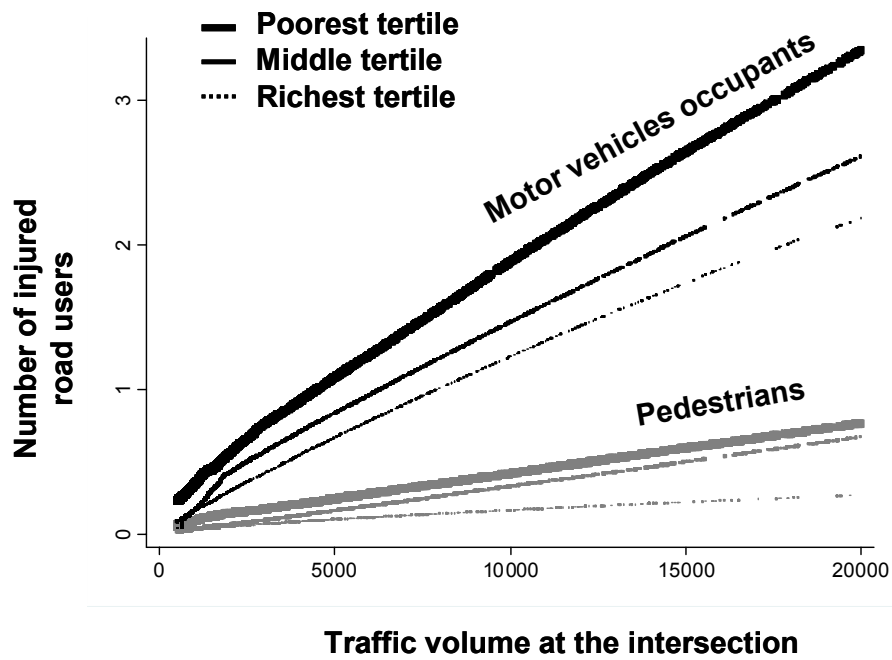


\* Road users injured between January 1st 1999 and December 31st 2003 on the island of Montreal.

**Figure 2: Spatial variation in the exposure to environmental factors measured at 17 636 intersections located in 27 boroughs on the Island of Montreal**



**Figure 3: Association\* between the number of injured road users and traffic volume at 17 636 intersections, grouped by socioeconomic position of borough residents**



\* Locally weighted least square regression (LOESS) of the number of injured road users at intersections, according to traffic volume.

## TABLES

**Table 1 Observed number of injured pedestrians, cyclists, and motor vehicle occupants (MVO) across 17 636 intersections as a function of traffic volume, road types and number of legs at intersections**

	Traffic volume (quintile)					Road type			Number of legs	
	Lowest traffic	2	3	4	Highest traffic	Minor only	Major and minor	Major only	three	four
<i>Intersections (n)</i>	3 527	3 511	3 542	3 529	3 527	14 546	2 882	208	10 445	7 191
Mean daily traffic volume at intersection (veh./day)	269	530	1 110	3 829	18 384	2353	15586	28622	2 939	7 564
Injured pedestrians*										
Number	40	115	239	594	2 117	1 144	1 652	309	483	2 622
Mean / intersection	0.01	0.03	0.07	0.17	0.60	0.08	0.57	1.49	0.05	0.36
Injured Cyclists*										
Number	94	170	266	575	1582	1 440	1 033	214	675	2 012
Mean / intersection	0.03	0.05	0.08	0.16	0.45	0.1	0.36	1.03	0.06	0.28
Injured MVO*										
Number	258	466	751	3 033	9724	4 291	8 118	1 823	1 807	12 425
Mean / intersection	0.07	0.13	0.21	0.86	2.76	0.29	2.82	8.76	0.17	1.73

\* Road users injured between January 1<sup>st</sup> 1999 and December 31<sup>st</sup> 2003 on the island of Montreal.

\* Chi-Square tests for linearity are statistically significant ( $p < 0.001$ ) for associations between injured road users and traffic volume quintile or road type.

**Table 2: Multilevel multivariate analyses predicting number of pedestrians, cyclists, and motor vehicle occupants injured across 17 636 intersections as a function of intersection and boroughs' residents characteristics**

Exposure Variable	Model 1 ERR (95% CI)	Model 2 ERR (95% CI)	Model 3 ERR (95% CI)	Model 4 ERR (95% CI)
<b>Number of Pedestrians Injured</b>				
Traffic Volume at intersection (centered at 500 veh/day)	1.106 (1.080-1.133)	1.055 (1.042-1.069)	1.053 (1.039-1.067)	1.051 (1.038-1.065)
Intersection with at least one major road (vs only minor)		2.575 (2.318-2.859)	2.582 (2.325-2.868)	2.587 (2.329-2.872)
Intersection with four legs (vs three)		3.784 (3.372-4.248)	3.789 (3.376-4.252)	3.778 (3.366-4.240)
Proportion of residents on the workforce that report walking to work			1.036 (1.005-1.069)	1.035 (1.008-1.063)
Poorest tertile of mean household income (vs richest)				2.275 (1.371-3.776)
Middle tertile of mean household income (vs richest)				1.375 (0.818-2.312)
<b>Number of Cyclists Injured</b>				
Traffic Volume at intersection (centered at 500 veh/day)	1.083 (1.062-1.104)	1.057 (1.042-1.073)	1.056 (1.040-1.073)	1.055 (1.039-1.071)
Intersection with at least one major road (vs only minor)		1.411 (1.253-1.588)	1.415 (1.258-1.594)	1.418 (1.260-1.597)
Intersection with four legs (vs three)		2.446 (2.196-2.725)	2.449 (2.198-2.728)	2.442 (2.193-2.720)
Proportion of residents on the workforce that report cycling to work			1.269 (1.090-1.479)	1.210 (1.046-1.399)
Poorest tertile of mean household income (vs richest)				2.114 (1.297-3.447)
Middle tertile of mean household income (vs richest)				1.536 (0.956-2.470)
<b>Number of Motor Vehicle Occupants Injured</b>				
Traffic Volume at intersection (centered at 500 veh/day)	1.133 (1.092-1.175)	1.056 (1.040-1.072)	1.056 (1.040-1.072)	1.056 (1.040-1.072)
Intersection with at least one major road (vs only minor)		4.184 (3.865-4.530)	4.183 (3.864-4.528)	4.188 (3.869-4.534)
Intersection with four legs (vs three)		4.840 (4.409-5.313)	4.828 (4.398-5.300)	4.829 (4.399-5.301)
Proportion of residents getting to work by car			0.991 (0.981-1.000)	1.002 (0.991-1.015)
Poorest tertile of mean household income (vs richest)				1.472 (0.963-2.250)
Middle tertile of mean household income (vs richest)				1.464 (1.007-2.130)

The multilevel analysis nested the 17 636 intersections within the 27 boroughs.

Model 1 includes traffic volume at intersection as the only predictor.

Model 2 includes predictors from Model 1 and presence of a major road or four legs at the intersection.

Model 3 includes predictors from Model 2 and residents' modes of transportation to get to work.

Model 4 includes predictors from Model 3 and two dummy variables for tertiles of household income of borough residents.

**Table 3: Variation of intersection-level and of borough-level variables across the 27 boroughs**

		<i>median</i>	<i>mean</i>	<i>SD</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
Intersection-level variables aggregated to the borough	Intersections ( <i>n</i> )	670	653	302	183	1484
	Mean number of injured pedestrians per intersection	0.12	0.16	0.15	0.01	0.52
	Mean number of injured cyclists per intersection	0.10	0.15	0.15	0.02	0.61
	Mean number of injured MVO per intersection	0.58	0.70	0.53	0.05	1.95
	Mean daily traffic volume at intersection	3 949	4 678	3 149	1 074	12 810
	Proportion of intersections with at least one major road	16%	16%	11%	1%	42%
	Proportion of intersections with four legs	39%	40%	16%	14%	68%
Borough-level variables	Proportion of residents on the workforce that report walking to work	6.3%	7.8%	7.5%	1.1%	39.5%
	Proportion of residents on the workforce that report cycling to work	1.1%	1.3%	1.3%	0.3%	7.1%
	Proportion of residents on the workforce that report getting to work by car	63.7%	62.4%	14.8%	28.6%	87.2%
	Mean household income of residents	\$51 138	\$62 308	\$27 900	\$34 241	\$142 660

\* All the boroughs (2001) on the island of Montreal, Canada were included.

**Table 4: Borough-level variation in the number of pedestrians, cyclists, and motor vehicle occupants injured at intersections and effect of traffic volume**

	<b>Null Model</b>	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>	<b>Model 4</b>
<b>Number of Pedestrians Injured</b>					
Variance Estimate for Intercept $u_{0j}$ (95% PVR)	0.01-0.81	0.01-0.41	0.01-0.11	0.01-0.07	0.01-0.03
Proportion of between borough variance in intercept explained by addition of variables in the model		14%	54%	67%	80%
Variance Estimate for Traffic Volume $u_{1j}$ (95% PVR)		0.99-1.23	1.00-1.11	1.00-1.11	1.00-1.11
Proportion of between borough variance in the random effect of traffic volume explained from model 1			76%	77%	79%
<b>Number of Cyclists Injured</b>					
Variance Estimate for Intercept $u_{0j}$ (95% PVR)	0.02-0.60	0.01-0.37	0.01-0.18	0.01-0.10	0.01-0.06
Proportion of between borough variance in intercept explained by addition of variables in the model		12%	39%	62%	74%
Variance Estimate for Traffic Volume $u_{1j}$ (95% PVR)		0.99-1.18	1.00-1.12	0.99-1.12	0.99-1.12
Proportion of between borough variance in the random effect of traffic volume explained from model 1			52%	48%	52%
<b>Number of Motor Vehicle Occupants Injured</b>					
Variance Estimate for Intercept $u_{0j}$ (95% PVR)	0.11-2.64	0.05-1.53	0.03-0.25	0.07-0.38	0.02-0.15
Proportion of between borough variance in intercept explained by addition of variables in the model		-11%	60%	72%	64%
Variance Estimate for Traffic Volume $u_{1j}$ (95% PVR)		0.95-1.35	0.99-1.13	0.99-1.13	0.99-1.13
Proportion of between borough variance in the random effect of traffic volume explained from model 1			85%	85%	86%

The multilevel analysis nested the 17 636 intersections within the 27 boroughs.  
PVR: Plausible value range.



**CHAPITRE 7 - NEIGHBOURHOOD INEQUALITIES IN PEDESTRIAN, CYCLIST  
AND CAR OCCUPANT INJURIES ARE PRIMARILY EXPLAINED BY TRAFFIC  
VOLUME AND ROAD DESIGN (ARTICLE 3)**

Patrick Morency<sup>1</sup>, Lise Gauvin<sup>2,3,4</sup>, Céline Plante<sup>1</sup>, Michel Fournier<sup>1</sup>, Catherine Morency<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal,  
Montréal, Québec, Canada

<sup>2</sup> Université de Montréal, Département de médecine sociale et préventive, Montréal,  
Québec, Canada

<sup>3</sup> CRCHUM, Centre de Recherche du Centre Hospitalier de l'Université de Montréal,  
Montréal, Québec, Canada

<sup>4</sup> Centre de recherche Léa-Roback sur les inégalités sociales de santé de Montréal,  
Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

<sup>5</sup> École Polytechnique de Montréal, Département des génies civil, géologique et des mines,  
Montréal, Québec, Canada

**ABSTRACT**

**INTRODUCTION:** There are significant social inequalities in road crashes, injuries, and deaths between and within countries. Given the dearth of information regarding the factors that explain the higher burden of pedestrian and cyclist injuries among the least wealthy and existing studies pointing to the important role of traffic volume and street geometry to explaining road injuries, the purpose of this paper is to examine the extent to which different rates of pedestrian and cyclist injuries across wealthy and poor urban areas can be explained by differential traffic volume and road geometry in these areas. **METHODS:** All pedestrians, cyclists, and motor vehicles occupants (MVO) injured over a five year period for whom an ambulance was sent were included. Intersections (n=17 498) in a 482 km<sup>2</sup> urban area were characterized by the presence of major roads, their number of legs and traffic estimates, provided by a large random Origin-Destination survey, which covers the entire metropolitan area and reaches 65 227 households, combined with a traffic assignment model. The Canadian Census provided information on household income, population density and the mode of transportation used to get to work at the census tracts level (CT). Event rate ratios (ERR) were estimated with multilevel Poisson regressions that nested intersections within CT. Separate analyses were conducted for each category of road users. **RESULTS:** Compared with the wealthiest areas, intersections in the poorest areas had greater traffic volume (2.4 times higher), more arterial roads (2.6 times more), and more four-leg intersections (1.8 times more). A multilevel model with residents average household income as the only predictor showed that intersections in the poorest areas have significantly more injured pedestrians (ERR=6.0 [95% CI : 4.5, 8.1]), cyclists (ERR=4.3 [95% CI : 3.2, 5.7]), and MVO (ERR=4.3 [95% CI : 3.3, 5.5]) than intersections in the richest areas. In the final models, controlling for traffic volume and intersection

geometry greatly attenuated the event rate ratios (ERR) between the poorest and richest areas for injured pedestrians (-45%), cyclists (-30%), and MVO (-44%), but the socioeconomic differences remained statistically significant. The addition of proxies for pedestrian and cyclist volumes further attenuated these ERR to 1.8 [95% CI : 1.3, 2.5] for injured pedestrians and to 2.4 [95% CI : 1.9, 3.1] for injured cyclists. The attributable fraction estimates suggest that if intersections in the poorest areas were similar to those of the wealthiest areas, the number of road injuries would be substantially reduced in these areas. **DISCUSSION:** All census tracts and intersections of a large urban area were included in this multilevel analysis. Results show that most of the excess rate of road injuries in the poorest urban areas could be explained by differential exposure to traffic volume and road network features. It suggests that environmental preventive strategies may greatly reduce road injury inequalities across urban neighbourhoods.

## INTRODUCTION

Road crashes are a leading cause of death and disability worldwide (Peden et al., 2004). Deaths represent only the tip of the iceberg in terms of burden because for every death attributable to injuries, there are hundreds of emergency department visits and many more minor injuries and near misses (Sahai et al., 2005). Furthermore, in urban settings, road danger dissuades people from walking or cycling, two modes of transportation that are beneficial for health (Pikora & al., 2003).

Although the number and rate of road deaths have decreased in industrialized countries over the last 30 years, they remain a major public health burden with around 40 000 and 3 000 road deaths annually in the U.S. and Canada, respectively (Peden et al., 2003). In addition, for pedestrians, these decreases may reflect a reduction of the exposed population, with fewer and fewer people using walking as a mode of transportation (DiGuseppi et al., 1997, 1998; Sonkin & al., 2006). Furthermore, it has been reported, in England and Wales, that decreases in road mortality have not been evenly distributed, with children of non-manual social classes experiencing greater reductions in risk of death from pedestrian crashes than children of manual social classes (Roberts & Power, 1996; Edwards, 2006).

That is, there are significant social inequalities in road crashes, injuries, and deaths between and within countries (Lu et al, 2005; Peden et al., 2004; Pucher & Dijkstra, 2003; NHTSA, 2008). Within countries, motor vehicle injury and death rates have been shown to vary according to individual and neighbourhood socioeconomic positions with greater rates among the least well off (Cubbin & al., 2002; Cubbin & al., 2000; Laflamme &

Diderichsen, 2000; Laflamme & al., 2009). For pedestrian injuries, a socioeconomic gradient has been linked to different components of a neighbourhood's deprivation, such as population income and education level, rate of recorded crime, barriers to accessing housing and services, and car ownership. (Joly & al., 1991; Graham & Stephens, D.A., 2008; Rao & al., 1997). For decades, the poorer, more densely populated inner-city areas have been found to have higher rates of adult and child pedestrian injuries (Allard, 1982; Joly et al., 1991). For example, in 1981 in Montreal, children living in the poorest urban areas had rates of pedestrian injuries almost six times greater than children living in wealthier neighbourhoods (Dougherty & al., 1990).

Although many different factors, related either to individuals, vehicles or the environment could contribute to creating such social inequalities, they should be understood in light of some mechanisms involved in the occurrence of road deaths and injuries. First, moving vehicles are the primary cause of road crashes: deaths and injuries result from the transfer of a motor vehicle's kinetic energy at a rate which exceed the human body capacity (Haddon, 1970, 1995). Second, the extent of the burden of road injuries on population health is directly related to the amount of exposure to risk of crash (Peden & al., 2004; Mohan & al., 2006). For example, risk exposure could be measured by distance travelled for drivers or by traffic volume for streets and intersections travelled by pedestrians and cyclists (Lassarre et al., 2007). Third, the number of injured pedestrians or cyclists is also directly related to the number of people exposed (Jacobsen, 2003; Leden, 2002). The concept of pedestrian "safety in numbers" is often misunderstood: individual risk of a crash may be lower in places with more pedestrians, but the actual number of killed or injured pedestrians nevertheless increases with the number of people walking. Thus, in a given environment, the greater the number of motor vehicles and of people

walking around, the greater the number of road injuries and deaths due to collisions between motor vehicles and pedestrians. Fourth, the physical environment has a strong influence on the likelihood of injuries (Peek-Asa & Zwerling, 2003). For example, road widening increases crashes while traffic calming and 20 mile per hour zones greatly reduce their occurrence (Elvik, 2001; Ewing & Dumbaugh, 2009; Grundy et al., 2009; King et al., 2003; Leden et al., 2006; Zein et al., 1997).

Two California studies on neighbourhood exposure to motor vehicles reported a greater likelihood of high traffic volumes in poorest census block groups and around schools in deprived areas (Gunier & al., 2003; Green & al., 2004). In the United States, minorities and low-income households account for almost two thirds of public transit riders (NHTS) – a mode of transportation that implies significant walking (Besser & Dannenberg, 2005). In Montreal, lower average family income in the neighborhood has been associated with increased density of destinations - a strong predictor of walking (Gauvin & al., 2005) - and with decreased safety of the environment (Gauvin & al., 2005). Thus, in attempting to explain social inequalities in road injuries, it seems relevant to explore the extent to which inequalities can be explained, in whole or in part, by the greater number of motor vehicles, the greater number of pedestrians or cyclists, and by hazardous road design in lower income areas.

### **Literature Overview**

Usually, two broad categories of factors—individual and contextual—are identified to describe or explain neighbourhood inequalities in road injuries (Laflamme & Diderichsen, 2000; Laflamme & al., 2009). Income and education levels are well documented individual factors (Cubbin & al., 2002; Laflamme & al., 2009). Over the past

50 years, a number of studies have demonstrated the influence of individual or family factors on injured child pedestrians, including hyperactivity of the child, mother's level of education, low parental supervision and number of children in the family (Pless & al., 1989; Wasana & al., 1997). More recently, a multi-level analysis demonstrated that the socioeconomic characteristics of individuals and communities exerted independent and incremental effects on risk of road death (Cubbin & al., 2000).

The influence of contextual or environmental factors has been examined using ecological as well as individual study designs in cross-sectional or case-control studies. Over 30 years ago, Routledge et al. demonstrated that the number and types of roads crossed partly explained the rates of child pedestrian injuries observed (Routledge & al., 1996). According to this study, children living in downtown areas cross more roads, encounter more motor vehicles every day, and have a much higher risk of injury on major roads where traffic volume is high. Numerous other cross-sectional surveys have confirmed that children from lower-income families that do not own cars or homes are at higher risk of injury because they walk more and cross more intersections to get to school (Roberts & al., 1996; Rao et al., 1997; Macpherson et al., 1998; Roberts & al., 1997; Roberts & al., 1994).

Three case-control studies show that on-street parking, higher average vehicle speeds, and high traffic frequency are more common in the environments of injured child pedestrians (Agran & al., 1996; Roberts & al., 1995; Stevenson & al., 1995). However, two of these studies show paradoxical results since when other factors (vehicle parking; pedestrian volume; traffic speed) are taken into account, high traffic volume has a protective effect (Agran & al., 1996; Stevenson & al., 1995).

Several ecological investigations have documented the influence of population characteristics (e.g. family income, level of education, number of children, population density) and environmental context (e.g. traffic intensity, absence of parks, deteriorated housing) on the geographical distribution of pedestrians and cyclists injured in urban settings. In the United States, at the county level, urban sprawl and lower density — which are known to generate more traffic — have been associated with greater incidence of pedestrian fatalities (Ewing & al., 2003). At another scale, within a city, it is generally observed that the per capita or per road kilometre rate of injured pedestrians in a neighbourhood increases with population density (Rivara & Barber, 1985; Joly & al., 1991; LaScala & al., 2000; LaScala & al., 2004; Clifton & Kreamer-Fults, 2007); however, one study showed an inverse relationship when other factors were taken into account (Graham & Glaister, 2003). To estimate the effect of traffic volume, most ecological studies use indirect indicators (proxies) of traffic volume such as density of major roads or of employment (Joly & al., 1991; Graham & Glaister, 2003; Sebert Kuhlmann & al., 2009), but some studies have aggregated available data on vehicle counts (Wier & al., 2009; Yiannakoulis & al., 2002; LaScala & al., 2000). All these studies show that, within a city, areas with more traffic, greater density of major roads, or more traffic-generating activities have an higher incidence of injured pedestrians. Some studies included the proportion of low income households or an index of multiple deprivation as independent risk factors (Wier & al., 2009; Graham & al., 2005; LaScala & al., 2004). It is important to note that the ecologic design of these investigations precludes conclusions on relationships at the street or intersection level (Diez-Roux, 1998).



At the intersection level, estimates from mathematical models show that the mean number of pedestrian crashes is approximately proportional to the square root of vehicle volume (Garder, 2004 ; Lee & Abdel-Aty, 2005; Lyon & Persaud, 2002). The influence of road geometry is also widely acknowledged. For example, vehicle speed, road crashes, and fatality frequencies are higher on wider roads and, in general, there are more conflict points, crashes, and injuries at four-legged intersections than at three-legged T-intersections (Ewing & Dumbaugh, 2009; Garder, 2004 ; Lyon & Persaud, 2002; Dumbaugh & Rae, 2009). Road safety audits are currently being promoted to address pedestrian safety needs in the road infrastructures (Pikora & al., 2002). According to recent conceptual models, environmental factors affect the number of injured pedestrians either through increased traffic or pedestrian volume or through increased vehicle speed or potential conflicts between crossing pedestrians and vehicular traffic (Ewing & Dumbaugh, 2009, Miranda-Moreno & al., 2010).

### **Limits of current knowledge**

Few studies have examined the determinants or sources of socioeconomic inequalities related to traffic injuries and at the specific causal pathways that might explain these inequalities (Laflamme & Diderichsen, 2000; Macintyre & al., 2002; Laflamme & al., 2009). Studies describing spatial variation in the number or rate of people injured in road crashes do not always take into account level of exposure to risk (Sebert Kuhlmann & al., 2009). The most recent ecological studies include aggregate measures of traffic volume and road geometry in a sector, but not necessarily socioeconomic position. When included in an analysis, socioeconomic position is treated as an additional risk factor or a nuisance factor to be controlled for, as is often the case with a “black-box” paradigm relating exposure to

outcome without necessarily considering pathogenesis (Diez-Roux, 1998; Macintyre & al., 2002; Susser & Susser, 1996).

### **The current investigation**

Although some studies point to the important role of traffic volume and street geometry in explaining road injuries, there is a dearth of information regarding factors that explain the higher burden of pedestrian and cyclist injuries among the least advantaged. Therefore, the purpose of this paper is to examine if socioeconomic variation in the rate of pedestrian and cyclist injuries within an urban area can be explained by differential traffic volume and road geometry. To improve generalization to other road users, injured motor vehicle occupants were also included in the analyses. By identifying the effects of three broad categories of factors—exposed population, level of exposure to risk, and scope of risk associated with each exposure—this study aims to improve our understanding of the mechanisms that result in the inequalities observed across neighbourhoods. Traffic volume, road geometry and the number of people injured are analysed at the intersection level; the potential effects of neighbourhoods are estimated by the use of multilevel analysis for which intersections are nested within census tracts.

### **METHODS**

The urban area under study, the Island of Montreal, is the core of the Montreal metropolitan area where nearly half the population in the province of Québec lives. In 2001, this 482 km<sup>2</sup> territory had a population of 1.8 million people and comprised 27 administrative boroughs. The 27 boroughs are subdivided into 521 census tracts (CT), with the mean and median area of CTs being 0.96 km<sup>2</sup> and 0.49 km<sup>2</sup>, respectively.

## **Traffic Volume**

Since direct traffic counts, which provide annual average daily traffic (AADT), are available only for a subset of intersections, the data source for traffic volume estimates was the Montreal 1998 origin-destination (O-D) survey, a travel survey implemented for transportation planning purposes that covers the entire metropolitan area (Island of Montreal and surrounding suburbs) and includes data from 65 227 households (AMT, 2005). Study data such as geographical coordinates of origins and destinations (O-D), purposes, detailed sequence of modes of transport used, times of departure are used to construct a representative portrait of trips made by metropolitan area residents during a typical weekday. A trip allocation model is used to identify plausible routes along the road network. The number of vehicles on a week day for every road segment in Montreal was averaged within each of the census tracts (CT), for each of the four road types (local streets, collector roads, minor and major arterial roads). Estimates of the average daily traffic volumes on Montreal roads obtained in this way were then added up for each intersection to estimate traffic volume at the intersection. These estimates were strongly correlated ( $r=0.61$ ) with the AADT estimates from three-hour traffic counts at 517 intersections provided by the City of Montreal. The analysis included 17 498 intersections, after the exclusion of complex intersections - connected to expressway accesses ( $n=258$ ) or with traffic volume estimates greater than 80 000 vehicles/day ( $n=54$ ) - and of intersections ( $n=138$ ) located in CT with no residents.

## **Street Type, Number of Legs per Intersection**

The Montreal hierarchical street network was used to categorize roads as either minor (local streets and collector roads) or a major roads (minor and major arterial roads).

A spatial junction of the street network with buffers (15 meters) surrounding intersections (ArcInfo v9.1) provided the number of legs per intersection.

### **Population Density, Usual Transportation Modes, and Household Income Level**

Data extracted from the 2001 Canadian Census provided information on household income, population density, and work commute travel modes (Statistics Canada, 2002). Motor vehicle ownership was provided by the O-D survey. Since people who use public transit have to walk to and from transit stops (Besser & Dannenberg, 2005), these modes of transportation were grouped in the multivariate analysis. The proportion of people walking or using public transit and the proportion of people cycling to get to work were used as proxies for pedestrian and cyclist volumes, respectively. CTs with no working population (n=15) were excluded.

### **Injured Road Users**

We included in the study all road users injured on the island of Montreal between January 1, 1999 and December 31, 2003 for whom an ambulance was sent (Morency & Cloutier, 2005). The only ambulance service in Montreal (Urgences-santé Corporation) provided access to their calls and report data. Events for which both incoming calls and pre-hospital intervention reports indicated road trauma – an injury attributable to a motor vehicle collision - were included in the study (n=39 098). Duplicate calls or reports (n=125), pedestrian falls (n=688), incomplete reports (n=124), and events with missing geographic coordinates (n=318), which represented 3% of initially reported events, were excluded. In addition, injured motorcyclists (n=1 080) were not considered for the current analysis. Among the 36 763 injured people, this analysis focuses on the 21 224 (58%) road users injured at intersections. After excluding complex intersections and CTs without

residents, 3 025 pedestrian, 2 613 cyclist, and 13 930 MVO collisions were retained for the analysis. For descriptive purposes, people with a pre-hospital index greater than 3 (Sampalis & al., 1996) and/or the indication of major trauma on pre-hospital intervention reports were considered severely injured.

### **Mapping of the Location of Collisions**

Collision sites were mapped onto the road network using ArcInfo v9.1. The Montreal hierarchical street network (called *geobase*) was used to assign locations to intersections located within a radius of 15 metres.

### **Statistical Analysis Strategy**

Descriptive analyses were performed using SPSS v.11. Intersections were grouped according to socioeconomic position of CT residents by recoding average household income of residents into five groups of 101 or 102 census tracts (quintiles). Then, chi-square tests for linearity were applied to detect the presence of significant inequality trends in the three outcome variables (number of injured pedestrians, cyclists, and MVO) and in exposure variables as a function of CT socioeconomic quintiles.

A multilevel Poisson regression that nested 17 498 intersections within the 506 CTs was used to determine the strength of association between exposure variables and outcomes (ERR: event rate ratios), and to assess the impact of the inclusion of other variables on socioeconomic gradients. Hierarchical Linear Modeling software v. 6.04 (Raudenbush, Bryk, & Congdon, 2001) was used. Percentage of CT households without motor vehicle ownership was not included in the multilevel models because it is strongly correlated with

population density ( $r=0.60$ ) and with proportion of residents getting to work by car ( $r=-0.86$ ) or by public transit / walking ( $r=0.85$ ). A first null model was estimated, which allowed for computation of plausible value ranges (PVR) – or the extent of variation in the number of people injured across intersections. The borough's socioeconomic position is the only predictor of baseline model (Model 1), while traffic volume (Model 2), intersection geometry characteristics (Model 3), population density and modes of transportation used to get to work (Model 4) are added in the more complex models. Traffic volume was modeled as a random effect because the traffic-to-injured road users relationship has been shown to vary across local jurisdiction (Morency & al.). The final models included predictors at the intersection level (traffic volume, presence of major roads, number of legs) and at the borough level (housing income, population density, percentage of people walking or cycling to work). The traffic variable was centered at 500 Vehicles per day to make the intercept ( $\gamma_{00}$ ) easier to interpret. The reference categories for intersections with major road(s) and four-legged intersections are intersections with only minor roads and three-legged intersections, respectively. To estimate potential public health gains, the attributable fraction among the exposed intersections [ $AF_e = (ERR-1)/ERR$ ] (Rothman & Greenland, 1998) were calculated for the poorest areas.

## **RESULTS**

### **Intersections**

Over a five-year period, there were on average 17 injured pedestrians, 15 injured cyclists, and 80 injured MVO per 100 intersections. Nearly half (49%) of intersections had a traffic volume lower than 1 000 vehicles per day, and the mean daily traffic volume at

intersections was 4 748 vehicles per day. One sixth (17%) of the 17 498 intersections had at least one major road while 41% of intersections had four legs.

### **Census tracts**

Over the 5 years period, there are wide variations across the 506 CTs in the mean number of injured pedestrians (ranging from 0 to 1.78), cyclists (from 0 to 2.33), and MVO (from 0 to 7.67) per intersection (Table 1). In CTs with the highest traffic volume, there was an average of 47 242 vehicles per day at intersections, which is more than one hundred times greater than in the CTs with the least traffic (458 vehicles/day). In some CTs, there were no arteries at intersections, while in other CTs all intersections had at least one major road. There was a similar range—from 0% to 100%—in the proportion of intersections with four legs. Table 1 shows wide variations across CTs in terms of population density, mode of transportation used to get to work, percentage of households without car ownership and mean household income.

### *Comparison of neighbourhoods differing in socioeconomic position*

#### **Injured road users**

At intersections in the poorest CTs, there were on average six (6.3) times more pedestrians injured, four (3.9) times more cyclists injured, and four (4.3) times more MVO injured than in the wealthiest CTs (Table 2). There is a statistically significant inverse relationship between the household income of populations living in a CT and the average number of injured individuals, of severely injured individuals, and of injured children at intersections.

**Traffic volume**

Traffic volume at intersections increases significantly with level of poverty in the sector. At intersections in the poorest areas, average and median traffic were 2.4 and 3.0 times higher, respectively, than at intersections in the wealthiest sectors (Table 2).

**Road geometry**

In the poorest sectors, arteries were present at 30% of intersections, which is almost three (2.6) times higher than in the wealthiest sectors (Table 2). There were almost twice (1.8) as many intersections with four legs in the poorest sectors compared with intersections in the wealthiest areas.

**Exposed population**

Each CT quintile includes 18% to 22% of the population on the island of Montréal. However, population density increases with poverty, with the poorest sectors being four times more densely populated than the wealthiest sectors (Table 3). Mode of transportation used to get to work also varies according to socioeconomic position. In the poorest sectors, almost half (49%) of households did not own a motor vehicle, a figure that is about three (3.3) times higher than in the wealthiest sectors. Walking, cycling, or using public transport to get to work increases significantly with the level of poverty. In the wealthiest neighbourhoods, almost three-quarters (72%) of workers used motor vehicles to get to work.



### *Multilevel multivariate analysis*

Model comparison tests, based on respective deviance statistics, showed statistically significant variations ( $p < 0.001$ ) in the effect of traffic volume ( $\gamma_{10}$ ) across CTs for all models including the traffic variable. All subsequent modeling therefore included two random effects, one for the intercept and another for the effect of traffic volume.

### **Traffic volume and road geometry**

The final multilevel models (Table 4) shows that an increase of 1000 vehicles/day at an intersection is associated with a 6% increase in the average number of injured pedestrians (ERR=1.06 [95% CI: 1.05, 1.06]), a 5% increase of injured cyclists (ERR=1.05 [95% CI: 1.04, 1.06]), and a 7% increase of injured MVO (ERR=1.07 [95% CI: 1.06, 1.08]). At intersections with major road(s), there was an increased number of injured pedestrians (ERR=2.4 [95% CI: 2.1, 2.7]), cyclists (ERR=1.3 [95% CI: 1.2, 1.5]), and MVO (ERR=3.5 [95% CI: 3.2, 3.8]). More pedestrians (ERR=3.4 [95% CI: 3.1, 3.8]), cyclists (ERR=2.4 [95% CI: 2.2, 2.7]), and MVO (ERR=4.7 [95% CI: 4.4, 5.1]) were injured at four-legged intersections than at three-legged intersections.

### **Exposed population**

Traffic volume and geometry (arterial roads, number of legs) being taken into account, the average number of pedestrians injured at an intersection increases significantly with population density (ERR=1.04 [95% CI: 1.02, 1.06] with each increase of 1000 persons/km<sup>2</sup>) and with the proportion of residents in the workforce who reported walking or using public transit to get to work (ERR=1.01 [95% CI: 1.01, 1.02]). The average number of cyclists injured at an intersection increases significantly with the proportion of residents

on the workforce who cycle to get to work (ERR=1.10 [95% CI: 1.07, 1.14]). Other factors being taken into account, population density ( $p=1.00$ ) and proportion of people on the workforce who reported using cars to get to work ( $p=0.45$ ) were not significantly associated with MVO injured at the intersection (results not shown).

### **Neighbourhood socioeconomic position**

The baseline multilevel model (Model 1), with residents' average household income as the only predictor, shows that at intersections in the poorest areas there were significantly more injured pedestrians (ERR=6.0 [95% CI : 4.5, 8.1]), cyclists (ERR=4.3 [95% CI : 3.2, 5.7]), and MVO (ERR=4.3 [95% CI : 3.3, 5.5]) than at intersections in the wealthiest areas. Taking into account traffic volume and intersection geometry variables (Model 3) greatly attenuated ratios for injured pedestrians (-45% ; ERR=3.3 [95% CI : 2.6, 4.3]), cyclists (-30% ; ERR=3.0; [95% CI : 2.3, 3.8]), and MVO (-44%; ERR=2.4; [95% CI : 1.9, 2.9]), although for cyclists there is an overlap of 95% CI (Table 4; Figure 1). The inclusion of population density and proportion of residents who reported walking, using public transit or cycling to get to work—proxies for pedestrian and cyclist volumes—in the multivariate model (Model 4) further attenuated the socioeconomic gradients of pedestrian' and cyclist' injuries. In this final model, the ERR between intersections in the poorest (Q5) and the richest areas (Q1) were attenuated to 1.8 [95% CI : 1.3, 2.5] for injured pedestrians and to 2.4 [95% CI : 1.9, 3.1] for injured cyclists, which represent respective reductions of 70% and 44% compared to the ERR in the initial model (Table 4, Figure 1).

### **Variation of the effect of traffic across CTs**

The 95% plausible value range (PVR) established from the null model shows that the mean number of injured road users at intersections varied from 0.02 to 1.38 injured

pedestrians, from 0.02 to 1.07 injured cyclists, and from 0.14 to 4.40 injured MVO across census tracts. In the final models including all predictors, CT-level variances declined by 61% for pedestrians, 67% for cyclists, and 44% for MVO. The 95% PVR established from models II show that the effects of traffic also vary across CTs. At the lower end of the PVR, an increase of 1 000 vehicles per day is not associated with an increase in the mean number of injured road users while at the upper end of the PVR it is associated with increased numbers of injured pedestrians (+29%), cyclists (+18%), and MVO (+42%). In the final models, CT-level variances in the effects of increased traffic volume declined by 69% for pedestrians, by 61% for cyclists, and by 67% for MVO.

### **Road injuries attributable to differential traffic volume and road geometry**

According to the final multivariate models, if the average traffic at intersections in the poorest sectors were equal to that in wealthy areas (3 189 vehicles/day rather than 7 651 vehicles), there would be 21% fewer pedestrians, 19% fewer cyclists, and 25% fewer MVO injured at intersections in these neighbourhoods. If the number of intersections with arterial roads was similar to that in wealthy neighbourhoods (12% rather than 30%), there would be, at one out of every six intersections, an additional decline in the number of injured pedestrians (-58%), cyclists (-24%), and motor vehicle occupants (-72%). If the number of four-legged intersections was similar to that in wealthy neighbourhoods (28% rather than 51%), then there would be, at one out of every four intersections, an additional decline in the number of injured pedestrians (-71%), cyclists (-58%), and MVO (-79%).

## DISCUSSION

This study aims to understand how differential traffic volumes and road geometry contribute to social inequalities in road injuries within an urban area. Previous ecological studies have relied on area-level aggregated proxies of the local environment and have treated neighbourhood's socioeconomic position, if taken into account, as an additional independent risk factor (Wier & al., 2009; LaScala & al., 2004; Graham & al., 2005). The current study shows that road users in poorer neighbourhoods have a higher exposure to traffic and, traffic volume being equal, a greater risk of injury due to more major road(s) and/or four-legged intersections. Mostly, however, the results demonstrate that a substantial portion of the excess rate of road injuries in the poorest urban areas can be explained by the number of people exposed to crashes, traffic volume, and road geometry. Thus, this research contributes to identifying plausible causal pathways for road crash inequalities across neighbourhoods, a much needed/ still unanswered area of research (Laflamme & al., 2009; Macintyre & al., 2002). It suggests that environmental preventive strategies such as traffic volume reduction and safer roadway design could have great public health benefits.

### **Strengths**

The injury and traffic volume data sources, the inclusion of almost all intersections of a large urban area and the multilevel analysis contribute to the originality and relevance of this study.

The number of injured people provided by the ambulance service represents respectively 57%, 109% and 58% of the number of injured pedestrians, cyclists, and motor vehicle occupants reported by police services for the same period (SAAQ, 2004). The

higher number of injured cyclists reported from a data source that mainly covers more severe cases confirms that police datasets miss many injured cyclists (Langley & al., 2003). Traffic counts are rarely available for whole road networks or entire areas (Lee & Abdel-Aty, 2005). While other studies have derived traffic volume estimates from intersections or major roads with direct traffic counts (LaScala & al., 2000; Lovegrove & Sayed, 2009), in our study a large random travel survey (i.e., Origin-Destination survey) covering the whole metropolitan area provided traffic estimates for all intersections.

In ecological studies on the distribution of road injuries, aggregated data on local environments are used as proxies for local-level exposure. Aside from potential ecological fallacies (Diez-Roux, 1998; Morgenstern, 1982), such aggregated data cannot describe the variation of dependent and independent variables within the selected unit of analysis. Usual units of analysis are English wards (average area of 14 km<sup>2</sup>; (Graham & Glaister, 2003), US census tracts (average of 0.7 km<sup>2</sup> ; (Wier & al., 2009), or other small area units (LaScala & al., 2004; Joly & al., 1991). In this study, the association between number of road injuries, traffic volume, and road geometry was analysed at the intersection level. However, unlike usual street-level studies (Garder, 2004 ; Lee & Abdel-Aty, 2005; Schuurman & al., 2009), this research is not limited to a small sample of sites. The inclusion of almost all intersections, irrespective of their characteristics or crash history, is appropriate for a problem as widespread as road crashes where all intersections are potential crash sites. Limits of high-risk approaches targeting only the most problematic crash sites have been reported elsewhere (Rose, 1985; Morency & Cloutier, 2006; Elvik, 1997; Jacobsen, 2006). In this study, a high-risk approach would have missed the majority of crash sites since 61% of pedestrians and 74% of cyclists were injured at crash sites with only one or two injured pedestrians or cyclists over the five-year period.

Based on the population approach (Rose, 1985; Kindig & Stoddart, 2003), the inclusion of more than 17 000 intersections in a large urban area provides a wide spectrum of exposures and outcome data. The disaggregated analysis clearly shows the independent effect of major roads and traffic volume, which are often confounded in ecological studies. The multilevel analysis also leads to new findings such as variation of the effect of traffic volume across different neighbourhoods.

### **Neighbourhood road injury inequalities**

The magnitude of observed inequalities in pedestrian injuries across urban neighbourhoods is consistent with previous studies. An ecological study in Montreal found that the per capita rate of child pedestrian injuries were six times greater in poorest areas than in the richest quintile, although it did not find any significant socioeconomic inequalities for child cyclist injuries (Dougherty & al., 1990). In two UK cities that implemented traffic calming measures in poorer areas, the ratios of child pedestrian injuries between the most and the least deprived areas were between 4:1 and 2:1 (Jones & al., 2005). In the United States, after adjusting for individual and neighbourhood socioeconomic characteristics, a multi-level analysis showed that motor vehicle deaths were nearly two times (1.73) greater for residents of neighbourhoods within the lowest quartile of family income (Cubbin & al., 2000). In the current study, confidence interval overlaps show that the increased number of injured people at intersections of poorer urban areas is not statistically different for pedestrians, cyclists and MVO (Table 4). In addition, for each road user type, ratios between the poorest and wealthiest urban areas were quite similar when only severe injuries or school-age children were considered (Table 2). This consistency of neighbourhood inequalities in road injuries has not been reported before,

since most studies limit analyses to children and to one or two types of road users, mostly pedestrians (Dougherty & al., 1990; Joly & al., 1991; LaScala & al., 2004; Graham & Glaister, 2003; Graham & al., 2005, Clifton & Kremer-Fults, 2007), or combine all types of motor vehicles crashes (Cubbin & al., 2000; Dumbaugh & Rae, 2009; Lovegrove & Sayed, 2009).

The current study includes environmental factors related to size of the exposed population, level of exposure to crashes and risk of injury per unit of exposure. These factors were all systematically more frequent in the poorest neighbourhoods. As expected (Gauvin & al., 2008; NHTS), results show greater population density, walking and public transit use in the poorest neighbourhoods (Table 3). As reported in California (Gunier & al., 2003; Green & al., 2004), poorest neighbourhoods in Montreal have greater traffic and more major roads. The additional hazard posed by the greater proportion of four-legged intersections in poorer urban areas has not been reported before. In Montreal, pedestrian safety, measured with an observation grid, has previously been correlated with average family income in the neighbourhood, but the safety indicator mixes items that pertain to personal safety and to the threat posed by traffic (Gauvin & al., 2005). In the current study, the intersection characteristics were chosen because they have a strong potential influence on the incidence of road injuries (Ewing & Dumbaugh, 2009; Dumbaugh & Rae, 2009; Lyon & Persaud, 2002; Garder, 2004 ).

Although road danger is often considered a deterrent to walking (Pikora & al., 2003), some studies report an inverse relationship between walking and pedestrian safety in certain urban areas (Gauvin & al., 2005; Gauvin & al., 2008; Pabayo & al., 2010). At the street level, pedestrians might choose safer routes, as illustrated by a negative correlation

between pedestrians counts at intersections and percent of major roads in the surrounding/immediate area (400m) (Miranda-Moreno & al., 2010). Our results clearly show, however, that this behavioural adaptation does not prevent residents in poorer urban areas from being exposed to more traffic and a greater risk of crashes.

The attributable fraction estimates suggest that if intersections of the poorest neighbourhoods were similar to those of the wealthiest areas, the number of injured pedestrians, cyclists, and MVO would be greatly reduced in these areas. Although these estimates do not take into account all potential risk factors, this study includes the fundamental and essential determinants of temporal and spatial variations in road injuries. Many other studies have reported the great contribution of traffic volumes, major roads and four-legged intersections (Fridström et al., 1995; Garder, 2004 ; Lee & Abdel-Aty, 2005; Wier & al., 2009; Miranda-Moreno & al., 2010; Lyon & Persaud, 2002; Dumbaugh & Rae, 2009; Ewing & Dumbaugh, 2009; Schuurman et al., 2009).

### **The “effect” of neighbourhood socioeconomic position**

Previous studies were designed to control for socioeconomic position, treating it as an independent risk factor (Wier & al., 2009; Graham & al., 2005; LaScala & al., 2004). In spite of the independent “effect” of neighbourhood socioeconomic position shown in multivariate analyses, it should be remembered that poverty *per se* cannot produce road traffic injuries—moving vehicles do. For pedestrian, cyclist, and MVO crashes to occur, there must be moving vehicles and exposure to moving vehicles (Haddon, 1995; Chapman, 1973). In this study, controlling for traffic volume and some road design features in the multilevel multivariate analysis greatly attenuates road injury ratios between intersections in the poorest and wealthiest urban areas (Table 4, Figure 1).



The marked attenuation of socioeconomic gradients when traffic volume and road geometry are taken into account illustrates the mediating effect of the latter variables. The effect of neighbourhood socioeconomic position on number of injured pedestrians, cyclists, and MVO is mainly explained by traffic volume and road geometry as opposed to being an intrinsically “causal” and independent factor (Figure 2). It is thus plausible to argue that on the causal path that lead from neighbourhood characteristics to burden of road injuries, the number of people at risk, traffic volume and road geometry are intermediate variables, or mediators. Poorer areas might have less political influence, a factor that have been related to inequalities in the provision of safer roads (Lyons & al., 2006).

In the current study, the association between neighbourhood socioeconomic position and number of people injured at intersections remains statistically significant in the final models. However, many features of street design — roadway width, curb extension, on-street parking, raised crosswalks, and other traffic calming measures — were not taken into account. Since, up to a year or two ago in Montreal, widespread implementation of traffic calming interventions was limited to the wealthiest areas, the inclusion of more comprehensive environmental measures at intersections may further reduce the alleged independent “effect” of neighbourhood socioeconomic position to insignificance.

### **Implication for prevention strategies**

Recent conceptual frameworks place the built environment (development pattern and roadway design) as a distal cause of crashes, through the mediator of traffic volumes which are “the primary determinants of crash frequency” (Ewing & Dumbaugh, 2009) or, in public health terminology, “determinants of population incidence rates” (Rose, 1985;

Kindig & Stoddart, 2003) of crashes. This study shows that traffic volume and arterial roads explain a significant part of the variation in the mean number of road injuries across large arrays of intersections, grouped by CT. A population prevention strategy should attempt “to shift the entire distribution of exposures in a favourable direction” (Rose, 1985). A paradigm shift in favour of more sustainable transportation would reduce traffic volumes and prioritize public transit (Vuchic, 1999), which is much safer than car travel (British Medical Association, 1997; Peden et al., 2004; Beck & al., 2007). Recently, large reductions in road fatalities in the United States have been attributed to reductions in distances driven (Sivak, 2009). Permanent and greater reduction of traffic volume would make it easier to redesign urban arterials into safer streets, into more complete streets addressing the needs of different kinds of road users (Laplante & McCann, 2008). Since poor urban areas have the greatest exposure to traffic and major roads, they would benefit the most from an overall reduction of traffic volume.

In areas jeopardized by high traffic density, more people walking and cycling might translate into even more road injuries (Woodcock, 2009; Elvik, 2009). Thus, a reduction of exposure and transportation shift should be combined with area-wide traffic calming and with countermeasures specific to pedestrian and cyclist safety (Ewing, 1999; Grundy et al., 2009; King et al., 2003). Traffic calming could potentially reduce road injury inequalities (Jones). Unlike educational strategies, strategies targeting the physical environment tend to protect all individuals exposed to risk, at each exposure, regardless of age, education level or ethnic background. For example, shorter crosswalks provided by narrow streets or curb extensions make every pedestrian crossing safer, for all age groups. Improvements to the roadway environment have been the target of road safety programs for decades (Peek-Asa

& Zwerling, 2003; AIPCR, 2003; FHWA, 2004). Unfortunately, despite obvious limits, the high-risk approach still predominates (CCATM & Transports Canada, 2004; TQSR, 2007).

### **Limitations**

Pedestrian activity estimates and road geometry measures could be improved in future studies. For this study, estimates of pedestrian activity at the intersection level were not available and pedestrian counts would have been accessible for only a limited number of sites (Miranda-Moreno & al., 2010; Leden & al., 2002; Lee & Abdel-Aty, 2005; Garder, 2004). Traditional origin–destination surveys underestimate active transportation. Accurate estimation of pedestrian volume at the street level for whole urban areas is an emerging field of research. In the meantime, population density and mode of transportation used to get to work are common proxies for pedestrian activity at the local level in urban areas (Dumbaugh & Rae, 2009; Jacobsen, 2003; Graham & Glaister, 2003; Seibert Kuhlmann & al., 2009).

In this study, the presence of major roads and number of legs per intersection were used to describe intersection geometry. The influence of both factors on road safety have been reported previously (Ewing & Dumbaugh, 2009; Dumbaugh & Rae, 2009, Lovegrove & Sayed, 2009, Garder, 2004, Schuurman et al., 2009; Lyon & Persaud, 2002). More vehicle-vehicle, vehicle-pedestrian, and vehicle-cyclist conflicts arise at four-legged intersections (FHWA, 2004). Wider arterial roads and lanes increase operating speeds and stopping distance, while increased turning radii and free-flow right turn lanes might specifically jeopardize pedestrians. Without more information on specific intersections' design, this study cannot attribute the greater risk observed on arteries to any of the specific features associated with increased traffic capacity. To better orient street-level

environmental preventive strategies, further studies could include more detailed measures of street design. In the future, developments in geographic information system should make it easier to collect data on street characteristics for whole urban areas (Rodgers & al., 2010).

## CONCLUSION

Results from this study shed light on why the burden of pedestrian, cyclist, and motor vehicle occupant injuries is greater in poor urban neighbourhoods. Environmental factors increasing the likelihood of road injuries are systematically more common in the poorer urban areas. Traffic volume, road geometry, and the number of exposed people explain a substantial portion of the inequalities between poorer and richer neighbourhoods. These results contribute to the fields of injury prevention and health inequalities.

A paradigm shift in favour of more sustainable transportation would reduce traffic volume, especially in densely populated urban areas, and implement area-wide traffic calming to protect pedestrians and cyclists (Vuchic, 1999; Woodcock et al., 2009). Such large scale environmental strategies would have an impact on a large range of public health problems related to crashes, air pollution, noise and physical inactivity (British Medical Association, 1997; Dora, 1999; Drouin et al., 2006; Litman, 2003; Smargiassi et al., 2006; Seto et al., 2007). It would also reduce neighbourhood inequalities in health.

## REFERENCES

- Agence Métropolitaine du Transport (2005). *Enquête Origine-Destination 2003, la mobilité, des personnes dans la région de Montréal : Faits saillants.*
- Agran, P. F., Winn, D. G., Anderson, C. L., Tran, C., & Del Valle, C. P. (1996). The role of the physical and traffic environment in child pedestrian injuries. *Pediatrics*, 99: 1096-1103.
- Allard, R. (1982). Excess mortality from traffic accidents among elderly pedestrians living in the inner city. *Am J Public Health*, 72: 853-854.
- Association Mondiale de la Route (AIPCR) (2003). *Manuel de la sécurité routière.* 602 p.
- 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: 212-218.
- Besser, L. M. & Dannenberg, A. L. (2005). Walking to public transit: steps to help meet physical activity recommendations. *Am.J.Prev.Med.*, 29: 273-280.
- British Medical Association (BMA) (1997). *Road transport and health.*
- Chapman, R. (1973). The concept of exposure. *Accid Anal Prev*, 5: 95-110.
- Clifton, K. J. & Kreamer-Fults, K. (2007). An examination of the environmental attributes associated with pedestrian-vehicular crashes near public schools. *Accid Anal Prev*, 39: 708-715.
- Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM) & Transports Canada (2004). Rapport annuel 2002 : Vision sécurité routière 2010, vers les routes les plus sûres au monde. Canada
- Cubbin, C., LeClere, F. B., & Smith, G. S. (2000). Socioeconomic status and injury mortality: individual and neighbourhood determinants. *J.Epidemiol.Community Health*, 54: 517-524.
- Cubbin, C. & Smith, G. S. (2002). Socioeconomic inequalities in injury: critical issues in design and analysis. *Annu.Rev.Public Health*: 23, 349-375.
- Diez-Roux, A. V. (1998). Bringing context back into epidemiology: variables and fallacies in multilevel analysis. *Am J Public Health*, 88: 216-222.
- DiGuseppi, C., Li, L., & Roberts, I. (1998). Influence of travel patterns on mortality from injury among teenagers in England and Wales, 1985-95: trend analysis. *BMJ*, 316: 904-905.

- DiGiuseppi, C., Roberts, I., & Li, L. (1997). Influence of changing travel patterns on child death rates from injury: trend analysis. *BMJ*, *314*: 710-713.
- Dora, C. (1999). A different route to health: implications of transport policies. *BMJ*, *318*: 1686-1689.
- Dougherty, G., Pless, B., & Wilkins, R. (1990). Social Class and the Occurrence of Traffic Injuries and Deaths in Urban Children. *Can J Public Health*, *81*: 204-209.
- Drouin, L., Morency, P., King, P., Thérien, F., Lapierre, L., & Gosselin, G. (2006). *Le transport urbain, une question de santé*. Montréal : Agence de la santé et des services sociaux; Direction de santé publique.
- Dumbaugh, E. & Rae, R. (2009). Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety. *Journal of the American Planning Association*, *75*: 309-329.
- Edwards, P., Roberts, I., Green, J., & Lutchmun, S. (2006). Deaths from injury in children and employment status in family: analysis of trends in class specific death rates. *BMJ*, *333*: 119.
- Elvik, R. (1997). Evaluations of road accident blackspot treatment: a case of the Iron Law of Evaluation Studies? *Accid Anal Prev*, *29*: 191-199.
- Elvik, R. (2001). Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accid Anal Prev*, *33*: 327-336.
- Elvik, R. (2009). The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. *Accid Anal Prev*, *41*(4): 849-55.
- Ewing, R. (1999). *Traffic calming; state of the practice*. Institute of transportation engineers; Federal highway administration.
- Ewing, R. & Dumbaugh, E. (2009). The Built Environment and Traffic Safety: A Review of Empirical Evidence. *Journal of Planning Literature*, *23*: 347-367.
- Ewing, R., Schieber, R. A., & Zegeer, C. V. (2003). Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. *Am J Public Health*, *93*: 1541-1545.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2004). *Signalized Intersections: Informational Guide*. Report No. FHWA-HRT-04-091. U.S. Department of Transportation.
- Fridström, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., & Thomsen, L. K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accid Anal Prev*, *27*: 1-20.
- Garder, P. E. (2004). The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine. *Accid Anal Prev*, *36*: 533-542.

- Gauvin, L., Richard, L., Craig, C. L., Spivock, M., Riva, M., Forster, M. et al. (2005). From walkability to active living potential: an "ecometric" validation study. *Am J Prev Med*, 28: 126-133.
- Gauvin, L., Riva, M., Barnett, T., Richard, L., Craig, C. L., Spivock, M. et al. (2008). Association between neighborhood active living potential and walking. *Am J Epidemiol*, 167: 944-953.
- Graham, D., Glaister, S., & Anderson, R. (2005). The effects of area deprivation on the incidence of child and adult pedestrian casualties in England. *Accid Anal Prev*, 37: 125-135.
- Graham, D. J. & Glaister, S. (2003). Spatial Variation in Road Pedestrian Casualties: The Role of Urban Scale, Density and Land-use Mix. *Urban.Studies*, 40(8): 1591-1607.
- Graham, D. J. & Stephens, D. A. (2008). Decomposing the impact of deprivation on child pedestrian casualties in England. *Accid Anal Prev*, 40: 1351-1364.
- Green, R. S., Smorodinsky, S., Kim, J. J., McLaughlin, R., & Ostro, B. (2004). Proximity of California public schools to busy roads. *Environ Health Perspect*, 112: 61-66.
- 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: b4469.
- Gunier, R. B., Hertz, A., Von Behren, J., & Reynolds, P. (2003). Traffic density in California: socioeconomic and ethnic differences among potentially exposed children. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 13: 240-246.
- Haddon, W., Jr. (1970). On the escape of tigers: an ecologic note. *Am J Public Health Nations Health*, 60: 2229-2234.
- Haddon, W., Jr. (1995). Energy damage and the 10 countermeasure strategies. 1973. *Inj Prev*, 1: 40-44.
- Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Inj Prev*, 9: 205-209.
- Jacobsen, P. L. (2006). Why we fight about black spots. *Inj Prev*, 12: 356-357.
- Joly, M. F., Foggin, P. M., & Pless, I. B. (1991b). Geographical and socio-ecological variations of traffic accidents among children. *Soc Sci Med*, 33: 765-769.
- Jones, S. J., Lyons, R. A., John, A., & Palmer, S. R. (2005). Traffic calming policy can reduce inequalities in child pedestrian injuries: database study. *Inj Prev*, 11: 152-156.



- Kindig, D. & Stoddart, G. (2003). What is population health? *Am J Public Health, 93*: 380-383.
- King, M. R., Carnegie, J. A., & Ewing, R. (2003). Pedestrian Safety Through a Raised Median and Redesigned Intersections. *Transportation Research Record 1828*: 56-66.
- Laflamme, L. & Diderichsen, F. (2000). Social differences in traffic injury risks in childhood and youth. A literature review and a research agenda. *Inj Prev, 6*: 293-298.
- Laflamme, L., Burrows, S., Hasselberg, M. (2009). *Socioeconomic differences in injury risks; A review of findings and a discussion of potential countermeasures*. World Health Organization 136 p.
- Langley, J. D., Dow, N., Stephenson, S., & Kypri, K. (2003). Missing cyclists. *Inj Prev, 9*: 376-379.
- Laplante, J. & McCann B. (2008). Complete Streets : We Can Get There from Here. *Institute of Transportation Engineers Journal*: 24-28.
- Lascala, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. (2000). Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accid Anal Prev, 32*: 651-658.
- Lascala, E. A., Gruenewald, P. J., & Johnson, F. W. (2004). An ecological study of the locations of schools and child pedestrian injury collisions. *Accid Anal Prev, 36*: 569-576.
- Lassarre, S., Papadimitriou, E., Yannis, G., & Golias, J. (2007). Measuring accident risk exposure for pedestrians in different micro-environments. *Accid Anal Prev, 39*: 1226-1238.
- Leden, L. (2002). Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. *Accid Anal Prev, 34*: 457-464.
- 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*: 455-461.
- Lee, C. & Abdel-Aty, M. (2005). Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida. *Accid Anal Prev, 37*: 775-786.
- Litman, T. (2003). Integrating public health objectives in transportation decision-making. *Am J Health Promot, 18*: 103-108.

- Lovegrove, G. R. & Sayed, T. (2009). Macro-level collision prediction models for evaluating neighbourhood traffic safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(5): 609-621.
- Lu, T. H., Chiang, T. L., & Lynch, J. W. (2005). What can we learn from international comparisons of social inequalities in road traffic injury mortality? *Inj Prev*, 11: 131-133.
- Lyon, C. & Persaud, B. (2002). Pedestrian Collision Prediction Models for Urban Intersections. *Transportation Research Record 1818*: 102-107.
- Lyons, R.A., Jones, S.J., Newcombe, G.R., & Palmer, S.R. (2006). The influence of local politicians on pedestrian safety. *Inj Prev*, 12, 312-315.
- Macintyre, S., Ellaway, A., & Cummins, S. (2002). Place effects on health: how can we conceptualise, operationalise and measure them? *Soc.Sci.Med.*, 55: 125-139.
- Macpherson, A., Roberts, I., & Pless, I. B. (1998). Children's exposure to traffic and pedestrian injuries. *Am J Public Health*, 88: 1840-1843.
- Miranda-Moreno, L.F., Morency, P., & El-Geneidy, A.M. (2010). *How does built environment influence pedestrian activity and pedestrian collisions at intersections?* Washington D.C., USA: Paper presented at the 89th Transportation Research Board Annual Meeting.
- Mohan, D. Tiwari, G., Khayesi, M., Nafukho, F. M. (2006). *Road Traffic Injury Prevention Training Manual*. Geneva: World Health Organization. 113 p.
- Morency, P. & Cloutier, M. S. (2006). From targeted "black spots" to area-wide pedestrian safety. *Inj Prev*, 12: 360-364.
- Morgenstern, H. (1982). Uses of ecologic analysis in epidemiologic research. *Am J Public Health*, 72: 1336-1344.
- National Highway Traffic Safety Administration (2008). *National Pedestrian Crash Report - DOT HS 810 968*. U.S.Department of Transportation.
- Pabayo, R., Gauvin, L., Morency, P., Barnett, T., Nikiéma, B., Séguin, L. (2010). *Understanding the Determinants of Active Transportation to School among Children Living in Poverty: Evidence of Environmental Injustice from the Quebec Longitudinal Stud of Child Development*. Active Living Research Annual Conference, February 9-11, 2010; San Diego, CA.
- Peden, M., Scurfield, R., & Sleet, D. (2004). *Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation*. Genève : Organisation mondiale de la santé (OMS).

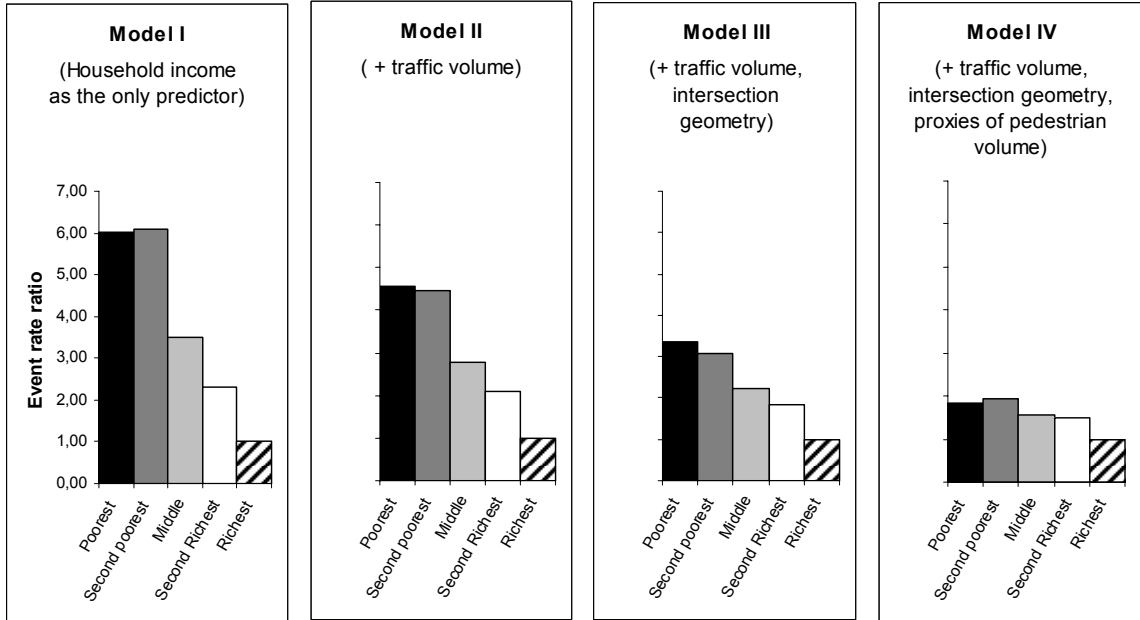
- Peek-Asa, C. & Zwerling, C. (2003). Role of environmental interventions in injury control and prevention. *Epidemiol Rev*, 25: 77-89.
- Pikora, T. J., Bull, F. C., Jamrozik, K., Knuiaman, M., Giles-Corti, B., & Donovan, R. J. (2002). Developing a reliable audit instrument to measure the physical environment for physical activity. *Am.J.Prev.Med.*, 23: 187-194.
- Pikora, T. J., Giles-Corti, B., Bull, F. C., & Jamrozik, K. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Soc Sci Med*, 56: 1693-1703.
- Pless, I. B., Verreault, R., & Tenina, S. (1989). A case-control study of pedestrian and bicyclist injuries in childhood. *Am J Public Health*, 79: 995-998.
- Pucher, J. & Dijkstra, L. (2003). Promoting safe walking and cycling to improve public health: lessons from The Netherlands and Germany. *Am J Public Health*, 93: 1509-1516.
- Rao, R., Hawkins, M., & Guyer, B. (1997b). Children's exposure to traffic and risk of pedestrian injury in an urban setting. *Bull N Y Acad Med*, 74: 65-80.
- Raudenbush, S.W., Bryk, A. 2002. *Hierarchical Linear Models; Applications and Data Analysis Methods. Second edition. Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences Series.* Sage Publications, inc.
- Roberts, I., Keall, M. D. & Frith, W. J. (1994). Pedestrian exposure and the risk of child pedestrian injury. *J.Paediatr.Child Health*, 30: 220-223.
- Roberts, I., Norton, R., Jackson, R., Dunn, R., & Hassall, I. (1995). Effect of environmental factors on risk of injury of child pedestrians by motor vehicles: a case-control study. *BMJ*, 310: 91-94.
- Roberts, I. & Power, C. (1996). Does the decline in child injury mortality vary by social class? A comparison of class specific mortality in 1981 and 1991. *BMJ*, 313: 784-786.
- Roberts, I., Norton, R., & Taua, B. (1996). Child pedestrian injury rates: the importance of "exposure to risk" relating to socioeconomic and ethnic differences, in Auckland, New Zealand. *J.Epidemiol.Community Health*, 50: 162-165.
- Roberts, I., Carlin, J., Bennett, C., Bergstrom, E., Guyer, B., Nolan, T. et al. (1997). An international study of the exposure of children to traffic. *Inj.Prev.*, 3: 89-93.
- Rodgers SE, Jones SJ, Macey SM, Lyons RA. (2010). Using geographical information systems to assess the equitable distribution of traffic-calming measures: translational research. *Inj Prev* 16: 7-11.
- Rose, G. (1985). Sick individuals and sick populations. *Int J Epidemiol*, 14: 32-38.

- Rothman, K. J. & Greenland, S. (1998). *Modern Epidemiology*, 2<sup>nd</sup> ed. Lippincott, Williams & Wilkins Ed. 737 p.
- Routledge, D. A., Repetto-Wright, R., & Howarth, C. I. (1996). The exposure of young children to accident risk as pedestrians. *Inj Prev*, 2: 150-161.
- Sahai, V. S., Ward, M. S., Zmijowskyj, T., & Rowe, B. H. (2005). Quantifying the iceberg effect for injury: using comprehensive community health data. *Can J Public Health*, 96: 328-332.
- Sampalis, J. S., Tamim, H., Nikolis, A., Lavoie, A., & Williams, J. I. (1996). Predictive validity and internal consistency of the pre-hospital index measured on-site by physicians. *Accid.Anal.Prev.*, 28: 675-684.
- Schuurman, N., Cinnamon, J., Crooks, V. A., & Hameed, S. M. (2009). Pedestrian injury and the built environment: an environmental scan of hotspots. *BMC Public Health*, 9: 233.
- Sebert Kuhlmann, A. K., Brett, J., Thomas, D., & Sain, S. R. (2009). Environmental characteristics associated with pedestrian-motor vehicle collisions in Denver, Colorado. *Am J Public Health*, 99: 1632-1637.
- Seto, E. Y., Holt, A., Rivard, T., & Bhatia, R. (2007). Spatial distribution of traffic induced noise exposures in a US city: an analytic tool for assessing the health impacts of urban planning decisions. *Int J Health Geogr*, 6: 24.
- Sivak, M. & Tsimhoni, O. (2008). Improving traffic safety: conceptual considerations for successful action. *J Safety Res*, 39: 453-457.
- Smargiassi, A., Baldwin, M., Pilger, C., Dugandzic, R., & Brauer, M. (2005). Small-scale spatial variability of particle concentrations and traffic levels in Montreal: a pilot study. *Sci Total Environ*, 338: 243-251.
- Société d'assurance-automobile du Québec (SAAQ) (2004). *Dossiers statistiques - accidents, parc automobile, permis de conduire : bilan 2003*. Québec.
- Statistics Canada (2002). *Population Census Minister of Industry*. Canada: Government of Canada.
- Stevenson, M. R., Jamrozik, K. D., & Spittle, J. (1995). A case-control study of traffic risk factors and child pedestrian injury. *Int J Epidemiol*, 24: 957-964.
- Susser, M. & Susser, E. (1996). Choosing a future for epidemiology: I. Eras and paradigms. *Am J Public Health*, 86: 668-673.
- Vuchic, V. R. (1999). *Transportation for livable cities*. New Jersey: Center for urban policy research, University of New Jersey.

- Wazana, A., Krueger, P., Raina, P., & Chambers, L. (1997). A review of risk factors for child pedestrian injuries: are they modifiable? *Inj.Prev.*, 3: 295-304.
- Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B. G., Ashiru, O., Banister, D. et al. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet*, 374: 1930-1943.
- 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. *Accid Anal Prev*, 41: 137-145.
- Yiannakoulias, N., Smoyer-Tomic, K. E., Hodgson, J., Spady, D. W., Rowe, B. H., & Voaklander, D. C. (2002). The spatial and temporal dimensions of child pedestrian injury in Edmonton. *Can J Public Health*, 93: 447-451.
- Zein, S. R., Geddes, E., Hemsing, S., & Johnson, M. (1997). Safety Benefits of Traffic Calming. *Transportation Research Record*, 1578: 3-10.

FIGURES

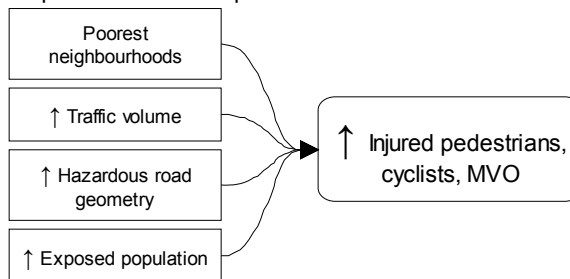
**Figure 1: Event rate ratios for the association between socioeconomic position of census tract residents\* and the mean number of injured pedestrians at intersections in increasingly complex multivariate models**



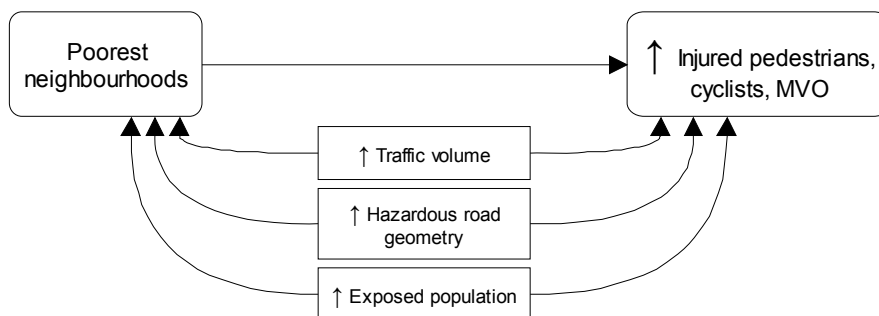
\* Richest quintile is the reference group.

**Figure 2: Association between neighbourhood household income and the number of injured pedestrians, cyclists and motor vehicle occupants (MVO)**

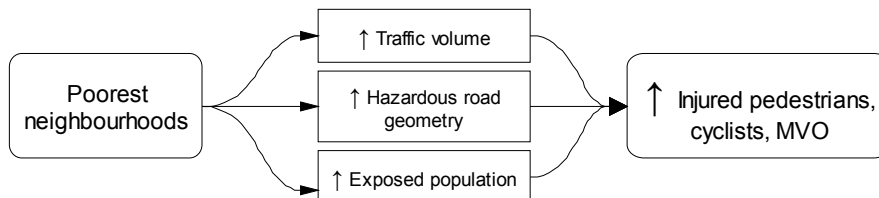
a) Neighbourhoods socio-economic position as an independent risk factor.



b) Traffic volume, road geometry and number of people exposed as confounding factors.



c) Traffic volume, road geometry and number of people exposed as intermediate steps on the causal path.



\*

## TABLES

**Table 1: Variation of intersection-level and of census tract-level variables in 506 census tracts on the Island of Montreal, Canada.**

		<i>median</i>	<i>mean</i>	<i>SD</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
Intersection-level variables aggregated to the CT level)	Mean number of injured pedestrians per intersection	0.17	0.27	0.31	0	1.78
	Mean number of injured cyclists per intersection	0.13	0.24	0.29	0	2.33
	Mean number of injured MVO per intersection	0.79	1.11	1.08	0	7.67
	Mean daily traffic volume at intersection	4 340	6 471	6 415	458	47 242
	Proportion of intersections with at least one major road	17%	22%	21%	0	100%
	Proportion of four-legged intersections	50%	50%	25%	0	100%
Census tract - level variables	Mean household income of residents	\$42 579	\$50 795	\$29 268	\$16 338	\$304 199
	Population density (/km <sup>2</sup> )	6 923	7 993	5 471	124	44 777
	Proportion of households without motor vehicle ownership	33%	33%	18%	0	85%
	Proportion of residents on the workforce that report walking to work	7.1%	9.8%	9.5%	0	65.2%
	Proportion of residents on the workforce that report cycling to work	1.1%	2.0%	2.5%	0	13.9%
	Proportion of residents on the workforce that report getting to work by public transit	34.2%	33.7%	11.7%	6.2%	61.5%
	Proportion of residents on the workforce that report getting to work by car	53.1%	53.6%	17.1%	0	92.9%



**Table 2: Characteristics of 17 498 intersections on the Island of Montreal as a function of socioeconomic position of CT residents**

	Poorest quintile	2 <sup>nd</sup> Poorest quintile	Middle quintile	2 <sup>nd</sup> Richest quintile	Richest quintile	Significance level *	Ratio
Traffic at intersection (mean)	7 651	7 350	5 120	4 065	3 189	< 0.001	2.4
Traffic at intersection (median)	1 984	1 669	1 154	1 130	653	< 0.001	3.0
Proportion of intersections with at least one major road	30%	23%	18%	16%	12%	< 0.001	2.6
Proportion of four-legged intersections	51%	60%	48%	38%	28%	< 0.001	1.8
Mean number of injured pedestrians per intersection	0.36	0.37	0.20	0.14	0.06	< 0.001	6.2
Mean number of severely injured pedestrians per intersection	0.07	0.06	0.04	0.02	0.01	< 0.001	6.9
Mean number of young pedestrians injured per intersection	0.06	0.06	0.03	0.02	0.01	< 0.001	8.3
Mean number of injured cyclists per intersection	0.29	0.26	0.18	0.11	0.07	< 0.001	3.9
Mean number of severely injured cyclists per intersection	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	< 0.001	5.4
Mean number of young cyclists injured per intersection	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	< 0.001	3.8
Mean number of injured MVO per intersection	1.43	1.51	0.96	0.69	0.33	< 0.001	4.2
Mean number of severely injured MVO per intersection	0.13	0.11	0.07	0.05	0.03	< 0.001	4.1
Mean number of young MVO injured per intersection	0.06	0.06	0.04	0.03	0.01	< 0.001	4.3

\* Chi-Square test for linearity.

**Table 3: Characteristics of 506 census tracts on the Island of Montreal as a function of socioeconomic position of residents**

	Poorest quintile	2 <sup>nd</sup> Poorest quintile	Middle quintile	2 <sup>nd</sup> Richest quintile	Richest quintile	Significance level *	Ratio
Mean household income of residents	\$29 741	\$36 551	\$42 715	\$51 870	\$93 178	< 0.001	0.3
Population density (/km <sup>2</sup> ) ownership	10 944	10 164	8 472	6 380	4 003	< 0.001	2.7
Proportion of households without motor vehicle ownership	49%	41%	34%	25%	15%	< 0.001	2.7
Proportion of residents on the workforce that report walking to work	13.5%	10.7%	9.7%	8.0%	6.9%	< 0.001	2.0
Proportion of residents on the workforce that report cycling to work	2.6%	2.3%	2.2%	1.9%	0.9%	< 0.001	2.9
Proportion of residents on the workforce that report getting to work by public transit	43.9%	39.9%	35.6%	29.7%	19.5%	< 0.001	2.2
Proportion of residents on the workforce that report getting to work by car	39.1%	46.1%	51.5%	59.7%	71.8%	< 0.001	0.5

\* Chi-Square test for linearity.

**Table 4. Multilevel multivariate modeling analyses predicting number of pedestrians, cyclists, and motor vehicle occupants injured across 17498 intersections as a function of census tract (household income, population density, commute travel modes) and intersections (traffic volume, road type, number of legs) characteristics.**

Exposure Variable	Model I ERR (95% CI)	Model II ERR (95% CI)	Model III ERR (95% CI)	Model IV ERR (95% CI)
<b>Number of Pedestrians Injured</b>				
Poorest quintile of mean household income	6.027 (4.462, 8.141)	4.559 (3.431, 6.058)	3.341 (2.599, 4.295)	1.825 (1.341, 2.482)
Fourth quintile	6.103 (4.513, 8.254)	4.465 (3.353, 5.946)	3.068 (2.382, 3.953)	1.936 (1.458, 2.572)
Third quintile	3.489 (2.569, 4.738)	2.771 (2.075, 3.699)	2.244 (1.739, 2.895)	1.570 (1.201, 2.052)
Second quintile	2.320 (1.708, 3.150)	2.077 (1.556, 2.773)	1.854 (1.434, 2.397)	1.489 (1.156, 1.919)
Richest quintile (reference category)	1.00	1.00	1.00	1.00
Traffic Volume at intersection (centered at 500 veh/day)		1.122 (1.112, 1.132)	1.059 (1.052, 1.067)	1.056 (1.048, 1.063)
Intersection with at least one major road (vs. only minor)			2.376 (2.131, 2.649)	2.393 (2.145, 2.670)
Intersection with four legs (vs. three)			3.525 (3.178, 3.909)	3.442 (3.102, 3.819)
Proportion of residents on the workforce that report walking or using public transit to get to work				1.013 (1.006, 1.020)
Population density				1.038 (1.021, 1.056)
<b>Number of Cyclists Injured</b>				
Poorest quintile of mean household income	4,273 (3.205, 5.698)	3,538 (2.749, 4.553)	2,985 (2.344, 3.801)	2,389 (1.850, 3.084)
Fourth quintile	3,798 (2.839, 5.082)	3,195 (2.473, 4.129)	2,483 (1.941, 3.177)	2,081 (1.614, 2.684)
Third quintile	2,754 (2.058, 3.685)	2,373 (1.839, 3.061)	2,035 (1.594, 2.596)	1,737 (1.363, 2.215)
Second quintile	1,616 (1.204, 2.168)	1,493 (1.155, 1.931)	1,370 (1.071, 1.752)	1,218 (0.960, 1.545)
Richest quintile (reference category)	-	-	-	-
Traffic Volume at intersection (centered at 500 veh/day)		1,078 (1.070, 1.085)	1.050 (1.043, 1.057)	1.048 (1.041, 1.055)
Intersection with at least one major road (vs. only minor)			1.301 (1.153, 1.478)	1.324 (1.169, 1.499)
Intersection with four legs (vs. three)			2.436 (2.206, 2.688)	2.408 (2.180, 2.660)
Proportion of residents on the workforce that report cycling to get to work				1.100 (1.067, 1.135)
Population density (/km <sup>2</sup> )				1.009 (0.992, 1.026)
<b>Number of Motor Vehicle Occupants Injured</b>				
Poorest quintile of mean household income	4,257 (3.321, 5.458)	3,458 (2.717, 4.399)	2,384 (1.935, 2.937)	
Fourth quintile	4,406 (3.435, 5.651)	3,898 (3.067, 4.954)	2,464 (2.000, 3.035)	
Third quintile	2,804 (2.180, 3.608)	2,256 (1.769, 2.877)	1,752 (1.421, 2.160)	
Second quintile	2,082 (1.623, 2.672)	2,036 (1.605, 2.582)	1,781 (1.449, 2.188)	
Richest quintile (reference category)	-	-	-	
Traffic Volume at intersection (centered at 500 veh/day)		1.162 (1.149, 1.176)	1.067 (1.059, 1.076)	
Intersection with at least one major road (vs. only minor)			3.521 (3.241, 3.826)	
Intersection with four legs (vs. three)			4.720 (4.354, 5.117)	

The multilevel analysis nested the 17498 intersections within the 506 census tracts.

Model 1 includes four dummy variables for quintiles of household income of census tract residents as the only predictors.

Model 2 includes predictors from Model 1 and traffic volume at intersection.

Model 3 includes predictors from Model 2 and presence of a major road or four legs at the intersection.

Model 4 includes predictors from Model 3 and population density, as well as proportion of residents on the workforce that report walking or cycling to work.



## **CHAPITRE 8 - DISCUSSION**

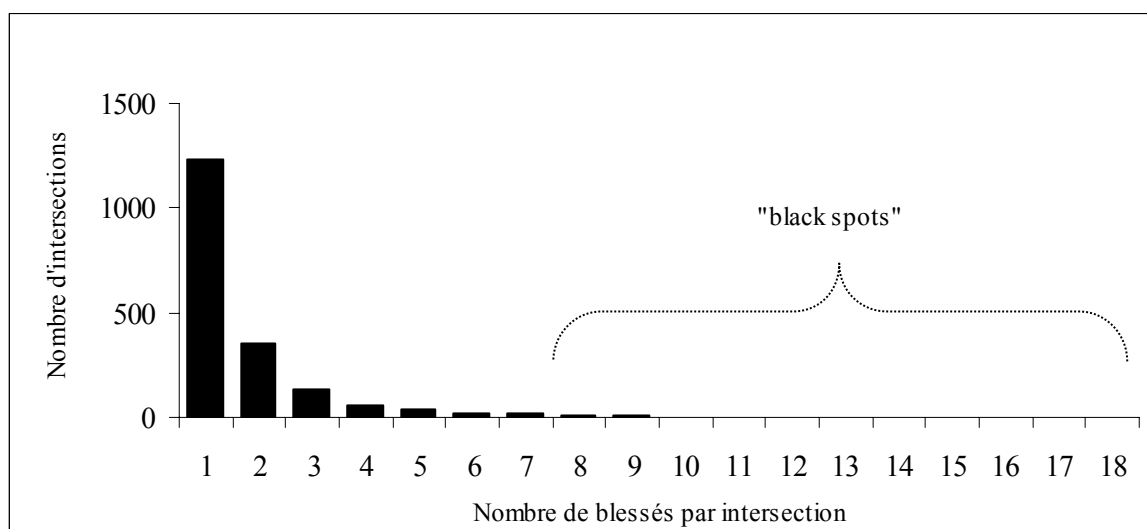
La discussion est structurée en fonction des objectifs de la thèse et de la séquence logique des nouvelles connaissances produites. Elle débute par les implications pour la santé publique des résultats concernant la distribution géographique de l'ensemble des piétons blessés, avant de discuter des effets des facteurs environnementaux et de leur contribution aux variations spatiales du nombre de piétons blessés. Ensuite, certains enjeux liés aux politiques de transport durable visant une réduction globale des volumes de circulation sont présentés, dont l'effet potentiel de ces politiques sur le nombre de piétons blessés en milieu urbain. Une section porte spécifiquement sur les principales limites des recherches menées dans le cadre de cette thèse. Finalement, le modèle conceptuel initialement développé en 2005 est critiqué et amélioré à la lumière des nouvelles connaissances produites dans cette recherche.

### **Limites des approches ciblées pour réduire le nombre de piétons blessés**

Tel que décrit au chapitre 3 et à l'article 1, l'identification « des black spots », comptant le plus grand nombre de blessés est encore aujourd'hui une approche privilégiée pour la recherche et l'intervention sur les facteurs environnementaux liés aux collisions routières (Geurts & Wets, 2003; Geurts & al., 2005; Meuleners & al., 2008; Montella, 2010). D'un point de vue de santé publique, les limites de cette approche sont nombreuses (Elvik, 1997; Rose, 1985; Rose, 1992). L'approche ciblée ne porte que sur une infime fraction des sites de collisions. Par exemple, pour les piétons blessés sur l'île de Montréal de 1999 à 2003, l'approche habituelle n'aurait identifié que 22 « black spots » alors que les piétons ont été blessés à 1 880 sites différents (article 1, Tableau 1). La figure B illustre la répartition des intersections selon le nombre de piétons blessés, ainsi que les sites

habituellement considérés par l'approche ciblée. Ce résultat était en partie prévisible selon les principes de l'approche populationnelle (Rose, 1985; Rose, 1992). Cependant, la dispersion des sites de collisions fut beaucoup plus grande qu'attendue – sur une période de cinq ans, dans certains arrondissements centraux jusqu'à 26 % des intersections comptent au moins un piéton blessé (Morency & Cloutier, 2005; Morency & Cloutier, 2006). La publication de ces résultats dans la revue *Injury Prevention* a été accompagnée d'un commentaire éditorial soulignant l'importance de dépasser l'approche ciblée et de modifier les pratiques usuelles des ingénieurs (Jacobsen, 2006). Ainsi, une première contribution de la thèse est de démontrer la valeur d'adopter une approche populationnelle pour conceptualiser et mesurer l'ampleur du problème des piétons blessés en milieu urbain.

**Figure B : Répartition des intersections selon le nombre de piétons blessés par intersection et illustration des intersections considérées par une approche ciblée**



Note : Les « black spots » ou « hot spots » sont les expressions consacrées pour nommer les sites comptant le plus grand nombre de blessés ou de décès de la route.

## **Facteurs environnementaux liés aux nombre de piétons blessés**

### ***Effet du volume de trafic***

Le volume de trafic n'est pas un facteur de risque comme les autres. Fondamentalement, les dommages et traumatismes routiers sont causés par le transfert d'énergie du véhicule en mouvement aux objets et aux personnes (Haddon 1970, 1973, 1980, Mohan & al., 2006). Il a souvent été démontré que la probabilité de survenue d'un accident est directement liée au volume d'exposition au risque, tant pour les conducteurs (nombre de kilomètres parcourus) (Lourens, 1999) que pour les intersections (volume de trafic; Garder, 2004; Lee & Abdel-Aty, 2005; Lyon & Persaud, 2002), les villes (Ewing & Dumbaugh, 2009) ou les pays (Adams, 1987; Sivak, 2009). Néanmoins, encore aujourd'hui des recherches portant sur la distribution des piétons blessés n'incluent aucune mesure ou indicateur des volumes de trafic ou de l'exposition des piétons à la circulation automobile (Priyantha Wedagama & al., 2006; Sebert Kuhlmann & al., 2009).

Aux intersections, d'une manière générale, l'augmentation du volume de trafic augmente l'exposition au risque de collision, i.e. "the amount of opportunity for accidents" (Chapman, 1973). Pour les piétons, cette augmentation de trafic diminue les fenêtres d'opportunité pour traverser (Lassarre & al., 2007). Ce facteur est si primordial que des modèles mathématiques développés en Angleterre, en Suède, aux États-Unis et au Canada pour estimer le nombre de piétons blessés aux intersections se basent strictement sur le nombre quotidien moyen de véhicules à l'intersection (Lee & Abdel-Aty, 2005) ou sur les volumes de véhicules et de piétons (Garder, 2004; Lyon & Persaud, 2002). Puisque nos travaux ne se limitent pas aux piétons et distinguent les différents types d'usager de la route, il a été possible de démontrer que l'effet d'un accroissement du volume de trafic aux

intersections est relativement similaire pour les piétons, les cyclistes et les occupants de véhicules à moteur.

Plusieurs études récentes, utilisant un devis écologique, ont démontré l'effet significatif du volume de trafic dans un quartier sur le nombre de piétons blessés (Ewing & Dumbaugh, 2009; Lascala & al., 2004; Lovegrove & Sayed, 2009; Yiannakoulis & al., 2002; Wier & al., 2009). Le devis écologique est utilisé pour expliquer les variations spatiales du nombre de blessés, mais aucun chercheur ne pose l'hypothèse que l'agrégation du volume de trafic à l'échelle des quartiers puisse avoir un effet indépendant du volume de trafic mesuré sur les routes. En fait, l'agrégation des données vise surtout à compenser l'absence de données disponibles pour l'ensemble du réseau routier. Or, le devis écologique ne permet pas de prendre en compte les variations de trafic au sein des unités d'analyse (ex. : SR) (Morgenstern, 1982) ni, par conséquent, de prendre en compte les variations locales de l'effet du trafic sur le nombre de blessés.

À l'instar des études écologiques publiées, nos travaux documentent les facteurs environnementaux associés aux variations spatiales du nombre de blessés de la route. Cependant, l'analyse multi-niveaux permet de prendre en compte le volume de trafic de chaque intersection et d'explorer une possible variation spatiale de l'effet du trafic sur le nombre de blessés. L'une des contributions importantes de notre recherche est le constat que la relation primordiale entre le trafic et le nombre de blessés varie significativement entre les arrondissements (article 2) ou les SR (article 3) d'une même ville.

*Effet des pratiques locales de marche*

Les résultats des articles 2 et 3 confirment que le nombre de piétons et de cyclistes blessés dans un arrondissement (article 2) ou un SR (article 3) est fortement lié à la pratique locale de la marche ou du vélo, qui sont des indicateurs (« proxies ») du nombre de piétons et de cyclistes aux intersections. En milieu urbain, toutes choses égales par ailleurs, plus il y a de piétons et plus il y a de piétons blessés.

L'étroite association entre le volume de piétons et le nombre de piétons blessés aux intersections a été rapportée auparavant (Garder, 2004). Il est déjà reconnu que la prise en compte du volume de piétons à l'intersection améliore les modèles mathématiques basés uniquement sur le volume de trafic (Lyon & Persaud, 2002). Cette recherche contribue néanmoins à l'avancée des connaissances. Premièrement, les résultats démontrent clairement que l'effet estimé des volumes de trafic et de la géométrie des intersections n'est pas affecté par la prise en compte des volumes de marche et de cyclisme, i.e. que les effets sont indépendants (article 2, Tableau 2; article 3, Tableau 4). Deuxièmement, l'article 3 démontre que la variation des pratiques locales de marche contribue au nombre plus élevé de piétons blessés dans les quartiers les plus pauvres.

Ces résultats soutiennent l'importante distinction conceptuelle entre la taille de la population exposée au risque, le nombre de piétons par exemple, et les autres dimensions du risque posé par la circulation automobile. Par exemple, plusieurs études associent le nombre de piétons blessés dans un quartier à l'occupation fonctionnelle du sol (« land use »; ex. : densité, commerces, écoles) et aux caractéristiques de la population (ex. : taille, structure d'âge, revenu) (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Dumbaugh & Rae, 2009; Joly & al., 1989; Joly & al., 1991b; Lascala & al., 2000; Lascala & al., 2004; Wier & al., 2009).



Une recherche récente est même explicitement fondée sur un modèle théorique liant directement l'occupation fonctionnelle du sol au nombre d'accidents impliquant des piétons ou des cyclistes (Priyantha Wedagama & al., 2006). Or, ces facteurs environnementaux sont étroitement associés au volume de marche dans un quartier (Gauvin & al., 2008) ainsi qu'au nombre de piétons à l'intersection (Miranda-Moreno & al., 2010). Par conséquent, leur inclusion dans une analyse multivariée entraîne la sous-estimation de l'effet du nombre de piétons sur le nombre de piétons blessés à une intersection (Miranda-Moreno & al., 2010). Conceptuellement, il est préférable de distinguer les facteurs associés à la marche, au nombre de piétons, de ceux associés au risque de collision (Miranda-Moreno & al., 2010).

La diminution des volumes de marche observée au cours des trente dernières années a contribué à réduire le nombre de piétons blessés (DiGuseppi & al., 1997; DiGuseppi & al., 1998; Roberts, 1993 ; Sonkin & al., 2006). Aujourd'hui, la promotion des modes de transports actifs, tels que la marche et le vélo, constitue une intervention de santé publique reconnue, notamment pour réduire les problèmes de santé liés à l'inactivité physique ou à l'excès de poids (Drouin & al., 2006; Killingsworth, 2003). Dans les milieux urbains exposés à une forte densité de circulation automobile, ces stratégies pourraient toutefois accroître le nombre de piétons blessés (Woodcock & al., 2009). Afin d'éviter que l'augmentation souhaitée des transports actifs ne se traduise par un plus grand nombre de piétons blessés, il doit y avoir une réduction concomitante des volumes de trafic (Elvik, 2009) et/ou une amélioration de la sécurité des aménagements routiers (Grundy & al., 2009).

### *Effet de la géométrie du réseau routier*

Les routes constituent le lieu d'interaction entre les piétons et les véhicules. Pour les piétons comme pour les autres usagers de la route, l'environnement routier module l'exposition au risque et le niveau de risque de collision et de blessure. Cette thèse s'est limitée à deux caractéristiques majeures : la hiérarchie fonctionnelle du réseau routier et le nombre de branches.

### *Hiérarchie fonctionnelle du réseau routier*

L'approche populationnelle et l'analyse désagrégée ont permis de répartir l'ensemble des blessés sur le réseau routier et de constater que la majorité des piétons sont blessés sur les artères, qui ne représentent pourtant qu'un sixième (17 %) de l'ensemble du réseau routier montréalais. Les résultats de l'analyse limitée aux intersections démontrent que, globalement, 63 % des piétons, 46 % des cyclistes et 70 % des occupants de véhicules à moteur ont été blessés à une intersection où au moins une artère est présente (article 2).

La répartition des blessés sur l'ensemble des intersections illustre les effets indépendants du volume de trafic et de la présence d'une artère (article 2, Figure 1) : le nombre de blessés aux intersections d'artères ayant un débit élevé de circulation (cinquième quintile) est 153 fois plus élevé qu'aux intersections de rues locales à faible débit (premier quintile). Les analyses multivariées démontrent que le risque associé aux artères s'ajoute à celui posé par le volume de trafic (articles 2, Tableau 2; article 3, Tableau 4).

Plusieurs études écologiques ont associé le nombre de blessés de la route dans un secteur à la densité ou à la proportion d'artères qu'on y retrouve (Dumbaugh & Rae, 2009; Joly, 1991b; Lovegrove & Sayed, 2009; Wier & al., 2009). Cependant, l'agrégation des

données ne permettait pas de décrire la répartition des blessés et des artères à l'intérieur de l'unité d'analyse choisie (ex. : secteur de recensement) (Morgenstern, 1982). De plus, peu d'études jusqu'à maintenant ont pu distinguer les effets des « artères » et du volume de trafic. En effet, la source habituelle de données pour les volumes de trafic - les comptages de véhicules – se limite principalement aux routes majeures (Dumbaugh & Rae, 2009; Lovegrove & Sayed, 2009; Lee & Abdel-Aty, 2005). Les rares études incluant des estimés de trafic sur les rues locales sont écologiques (Wier & al., 2009) ou limitées à un faible nombre de sites de collision (Garder, 2004).

Les risques posés par les artères peut refléter différentes caractéristiques liées aux véhicules (présence de camions et autobus, vitesses plus élevées) ou aux aménagements. Sur les artères, les voies plus larges et plus nombreuses favorisent des vitesses plus élevées (Ewing & Dumbaugh, 2009). Le Manuel de sécurité routière publié par l'Association mondiale de la route reconnaît qu'en milieu urbain, les artères posent un risque particulier (AIPCR, 2003). Les mesures d'apaisement de la circulation, telles que le rétrécissement de la chaussée (« road diet ») et les terre-pleins, permettent de réduire le risque posé par les artères (Elvik, 2001; Ewing & Dumbaugh, 2009; Ewing & al., 2009; King & al., 2003; Leden & al., 2006).

#### *Nombre de branches aux intersections*

La présence de 4 branches à une intersection augmente le nombre de points de conflits potentiels entre les usagers de la route et, par conséquent, est associé à des taux plus élevés de collisions et de blessés (Ewing & Dumbaugh, 2009; FHWA, 2004; Lyon & Persaud, 2002). À Montréal, de 1999 à 2003, la grande majorité des piétons (84 %) des cyclistes (75 %) et des occupants de véhicules à moteur (87 %) ont été blessés aux

intersections à 4 branches, qui ne représentent pourtant que 41 % de l'ensemble des intersections.

Les analyses multi-niveaux, nichant les intersections dans les arrondissements et les SR, démontrent que les intersections à 4 branches posent un risque aux trois types d'usagers de la route. De plus, les résultats démontrent que ce risque est indépendant des volumes de trafic et de la présence d'une artère.

Cette thèse confirme l'existence d'un certain paradoxe en ce qui concerne la connectivité du réseau routier. La connectivité représente le nombre de segments possibles pouvant relier deux points ou, plus concrètement, le nombre de trajets possibles entre l'origine et la destination d'un déplacement. Elle peut être mesurée par la proportion d'intersections à quatre branches. D'une part, une meilleure connectivité augmente le potentiel de marche d'un quartier (« walkability ») et est significativement associée à l'usage de la marche (Boer et al., 2007). D'autre part, une plus grande connectivité du réseau routier peut accroître le risque de collision. Des stratégies cohérentes de santé publique viseraient à augmenter la connectivité pour les piétons et les cyclistes, mais à diminuer le nombre de conflits potentiels entre les piétons et les automobilistes. Par exemple, la transformation d'intersections à quatre branches en intersections en forme de T, ou l'usage d'îlots circulaires peut réduire le nombre de points de conflits et de collisions pour les piétons, mais aussi pour les autres usagers de la route (Ewing & Dumbaugh, 2009; FHWA, 2004).

## **Variation spatiale du nombre de piétons blessés**

La variation des taux de blessés ou de décès entre différents pays, différentes villes ou différents quartiers d'une ville est connue depuis longtemps. Depuis plus de vingt ans, des recherches ont rapporté une variation spatiale des taux de piétons blessés per capita (Allard, 1982; Dougherty & al., 1990; Mohan, 2008) ou une variation du nombre de piétons blessés par secteur (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Joly & al., 1991b; Lascala & al., 2000; Yiannakoulias & al., 2002; Wier & al., 2009). Cette thèse porte sur les facteurs environnementaux liés à ces variations.

La variation du nombre de piétons blessés entre les secteurs d'une même ville a déjà été associée à de nombreux facteurs : densité de trafic et d'artères, volumes de marche, densité de population, présence de zones commerciales et/ou de bars, niveau socio-économique ou d'éducation des résidents, valeur des maisons, taux de crimes, proportion de mères monoparentales, ethnie, langue parlée, etc. (Clifton & Kreamer-Fults, 2007; Dougherty & al., 1990; Ewing & al., 2003; Graham & Stephens, 2008; Graham & al., 2005; Joly & al., 1991b; Laflamme & Diderichsen, 2000; Lascala & al., 2001; Sebert Kuhlmann & al., 2009; Steinbach & al., 2010). Pour expliquer la distribution géographique des piétons blessés, la majorité des études écologiques analyse simultanément la contribution de nombreux facteurs environnementaux, sans modèle causal explicite. Or, dans ces analyses multivariées la contribution estimée du trafic ou des artères peut être relativement faible, puisqu'il s'agit de variables médiatrices sur le chemin causal liant les aménagements urbains au nombre de piétons blessés (Ewing & Dumbaugh, 2009; Miranda-Moreno & al., 2010). Cette thèse vise spécifiquement à quantifier l'effet du volume de trafic, de la géométrie des routes et du volume de marche sur la variation spatiale du nombre de piétons blessés.

### ***Effet du volume de trafic et de la géométrie des routes***

Dans cette thèse, l'analyse désagrégée a permis de prendre en compte la grande variation du nombre de blessés et des facteurs environnementaux au sein des arrondissements et des SR. Les modèles de régression multi-niveaux ont démontré que la prise en compte de facteurs fondamentaux comme les volumes de trafic et la géométrie des intersections réduit significativement la variance du nombre de piétons (-80 %), de cyclistes (-74 %) et d'occupants de véhicules à moteur (-64 %) blessés aux intersections entre les arrondissements. La contribution majeure du trafic à la distribution spatiale et temporelle des collisions routières a été décrite auparavant (Adams, 1987; Ewing & Dumbaugh, 2009; Ewing & al., 2009; Fridström & al., 1995; Lee & Abdel-Aty, 2005; Lyon & Persaud, 2002; Roberts & al., 1992; Roberts & al., 1995a; Wier & al., 2009). Cette thèse se distingue en estimant la contribution supplémentaire de la géométrie des routes et des pratiques locales de marche. De plus, les résultats démontrent un impact relativement similaire de ces facteurs environnementaux sur la distribution des cyclistes et des occupants de véhicules à moteur. Enfin, l'utilisation des arrondissements pour délimiter les quartiers (article 2) permet de poser l'hypothèse d'un lien entre les variations observées et les politiques locales en matières de transport et d'aménagements routiers.

### ***Variations liées au niveau socio-économique des résidents***

Selon Macintyre, Ellaway et Cummins, les recherches dans le domaine des inégalités sociales de la santé devraient investiguer le chemin causal, les mécanismes par lesquels le contexte, l'environnement, influence la santé et engendre des inégalités (Macintyre & Ellaway, 2000; Macintyre & al., 2002). Un agenda de recherche a été proposé pour mieux comprendre les mécanismes expliquant l'influence des inégalités

sociales sur les taux de blessure (Laflamme & Diderichsen, 2000; Laflamme & al., 2009). Cette thèse s'inscrit dans cette perspective.

Plus spécifiquement, nos résultats démontrent que le contexte socioéconomique défavorable, mesuré par un faible niveau de revenu des résidents, est associé à une exposition différentielle au risque de collision ainsi qu'à un risque plus élevé de blessures. D'une part, on compte davantage de piétons exposés dans les quartiers les plus pauvres, tel que mesuré par la densité de population et la proportion d'adultes marchant pour se rendre au travail. D'autre part, les piétons marchant dans les quartiers plus pauvres sont exposés à davantage de trafic, ainsi qu'au risque supplémentaire posé par les artères et les intersections à quatre branches (article 3; Tableau 2).

Plusieurs recherches récentes décrivent les effets indépendants du niveau socioéconomique d'une population et de l'environnement bâti sur les taux de piétons blessés (Wier & al., 2009; Graham & al., 2005; Lascala & al., 2004). Un tel constat résulte d'analyses se limitant à inclure la position socioéconomique dans une analyse multivariée, comme un simple facteur de risque additionnel, sans considérer les interactions entre les facteurs impliqués (Diez-Roux, 1998; Macintyre & al., 2002; Susser & Susser, 1996). Cette thèse, au contraire, démontre une association entre les volumes de trafic et la géométrie du réseau routier, deux facteurs qui expliquent une grande part de l'excès de piétons blessés aux intersections des quartiers les plus pauvres.

### **Vers une stratégie de prévention populationnelle : effets estimés d'une réduction globale des volumes de circulation en milieu urbain**

Une stratégie préventive basée sur l'approche populationnelle vise à réduire le nombre total de piétons blessés en agissant sur les déterminants du taux d'incidence de collisions et blessures dans une population (Kindig & Stoddart, 2003; Rose, 1985). Une recherche basée sur cette approche doit donc porter à la fois sur la distribution des causes et des effets. Notre recherche démontre que la variation des taux de piétons blessés entre les quartiers d'une même ville est largement tributaire de la répartition, au sein de la ville, des volumes de trafic et de marche, des artères et des intersections à quatre branches. Par conséquent, l'intervention sur ces facteurs environnementaux à l'échelle d'une ville devrait, en théorie, affecter considérablement le nombre total de piétons blessés.

#### ***Impact potentiel sur le nombre de piétons blessés***

Selon le modèle multivarié détaillé à l'article 3, chaque réduction de 1 000 véhicules par jour à une intersection engendre une réduction de 5,3 % du nombre de blessés, sans égard à la présence d'artère(s) ou d'une quatrième branche. Aux États-Unis, la réduction récente des volumes de circulation automobile, liée à la crise économique, a été associée à une forte diminution du nombre total de décès de la route (Sivak, 2009), mais l'effet spécifique sur le nombre de piétons blessés en milieu urbain n'a pas encore été publié. Une étude récente estime l'effet d'une réduction des volumes de trafic sur le nombre d'accidents aux intersections, en fonction de différents scénarios (Elvik, 2009). Elle estime qu'une réduction de 25 % du nombre de véhicules motorisés aux intersections serait associée à une réduction du nombre total d'accidents impliquant des piétons, des cyclistes ou des automobilistes, même si il y a deux fois plus de piétons et de cyclistes aux



intersections. L'article publié ne détaille cependant pas l'évolution spécifique du nombre d'accidents impliquant des piétons. De plus, cette étude ne prend pas en compte la variation du risque de collision et de blessures au sein d'une ville, ni le risque supplémentaire associé aux artères ou aux intersections à quatre branches. Or, notre étude démontre que les gains - le nombre de piétons « sauvés » - seraient supérieurs aux intersections à fort débit, aux intersections avec artère(s) et/ou quatre branches, ainsi que dans les secteurs les plus pauvres (voir article 3 et annexe 3). L'ampleur de l'impact d'une réduction du trafic sur le nombre de blessés dépendra donc de la répartition géographique de la réduction de circulation.

### ***Effet paradoxal lié à l'augmentation du volume de marche***

Les politiques de transport favorisant la mobilité durable visent à diminuer les volumes de circulation automobile et à augmenter l'usage des modes de transport actifs et collectifs (Vuchic, 1999; Mohan & al., 2006). Selon des modèles mathématiques récents, une réduction globale du trafic associée à une augmentation des volumes de marche pourrait, dans certains contextes, entraîner une augmentation du nombre de piétons blessés (Elvik, 2009; Woodcock & al., 2009). Selon ces modèles, les gains potentiels liés à une réduction du risque de collision pourraient être annulés par l'augmentation du nombre de piétons. En d'autres termes, la réduction du risque au niveau individuel, pour chaque piéton, serait associée à une détérioration du bilan routier, à l'échelle populationnelle. Toutefois, ces études ne prennent pas en compte la répartition de la marche et du risque de collision au sein de la ville. Selon les résultats de notre recherche, l'augmentation du nombre de piétons blessés sera plus élevée si les « nouveaux » piétons marchent sur des artères à fort débit de trafic que s'ils marchent sur des rues locales à faible débit de trafic. Il sera aussi plus élevé si les « nouveaux » piétons croisent principalement des intersections à

quatre branches que s'ils croisent principalement des intersections à trois branches. De plus, il faut noter que des politiques cohérentes de mobilité durable doivent inclure des mesures qui protègent particulièrement les piétons et les cyclistes, telles que des traverses piétonnes sécuritaires, des pistes cyclables en site propre et des mesures d'apaisement de la circulation. Par ailleurs, l'implantation de ces mesures serait sans doute facilitée par la réduction des volumes de trafic et de l'espace public accordé à la circulation automobile.

### ***Impact potentiel sur les inégalités***

Pour certaines interventions de santé publique, une approche populationnelle a été associée à une augmentation des inégalités (Frohlich & Potvin, 2008). Selon l'article de Frohlich et Potvin, l'effet paradoxal décrit semble surtout avoir été observé pour des programmes dont l'efficacité était tributaire du niveau d'éducation (ex. : campagne de sensibilisation) ou de l'accès aux services de santé (ex. : dépistage du cancer du col utérin). Il est plausible que les personnes les plus éduquées et/ou ayant un meilleur accès aux services de santé bénéficient davantage de ce type de programme et d'intervention. Il est important de noter que l'approche populationnelle prônée dans cette thèse de doctorat passe par des stratégies environnementales dites « passives » (Haddon, 1974; Haddon, 1980), qui ne requièrent pas d'intervention particulière de la part des individus exposés au risque et qui interpellent plutôt les gouvernements et les gestionnaires du système de transport (Vuchic, 1999; Mohan & al., 2006).

Habituellement, les professionnels travaillant à l'amélioration de la sécurité routière ne prennent pas en compte les inégalités sociales ou le gradient socioéconomique observé pour des blessures. Ainsi, selon un ingénieur interviewé dans le cadre d'une étude de cas sur les pratiques locales à Londres : "... the engineering measures are targeted to where the

accidents are, regardless of what deprivation or ethnic mix or anything else, they're purely focused on the accident levels (Engineer, Inner London)'' (Green & Edwards, 2008). Selon Green, l'objectif de réduire les inégalités dans les taux de blessés de la route est certainement pertinent mais il ne se traduit pas nécessairement par des mesures pertinentes ou efficaces. La compréhension limitée du chemin causal produisant les inégalités peut orienter les professionnels vers des stratégies dont l'efficacité n'est pas démontrée (ex. : éducation des piétons) (Duperrex & al., 2002) ou contre-productives (ex. : « victim-blaming ») (Fahlquist, 2006).

Cette thèse élucide le mécanisme produisant le gradient socioéconomique observé dans les taux de piétons blessés entre les quartiers d'une ville. Les résultats suggèrent qu'une approche préventive populationnelle, basée sur des stratégies environnementales, pourrait avoir un impact majeur sur ces inégalités. Par exemple, une réduction globale des volumes de trafic se traduirait vraisemblablement par de plus grands bénéfices dans les quartiers les plus pauvres, où davantage de piétons sont exposés à des volumes de trafic plus élevés.

Pour se réaliser, ces stratégies environnementales requièrent l'implication de différentes instances gouvernementales (Mohan & al., 2006). Par exemple, dans la région métropolitaine de Montréal, la gestion du système de transport implique directement Transports Canada (niveau fédéral), Transports Québec (niveau provincial), les agences de transports collectifs (niveaux métropolitain et municipal), de nombreuses villes et arrondissements, etc. (Ville de Montréal, 2007). En plus des éventuels obstacles administratifs et politiques, il faut aussi reconnaître que certaines stratégies requièrent un changement de paradigme dans la gestion de l'aménagement du territoire et du système de

transport (Vuchic, 1999; Knoflach H, 2009; Drouin & al., 2006; Drouin & al., 2008; Lessard & al., 2009).

### **Limites**

Les principales limites des recherches menées dans le cadre de cette thèse sont discutées dans les trois articles.

Certaines limites sont liées aux sources de données. L'usage des données ambulancières peut engendrer une sous-estimation potentielle du nombre de blessés parmi les populations les plus pauvres, si elles ont moins recours à ces services. Dans la thèse, ce biais potentiel est atténué par l'inclusion de toutes les personnes blessées pour lesquelles il y a eu une intervention ambulancière, incluant celles ayant refusé le transport par ambulance. La jonction des données ambulancières et policières pourrait ultérieurement permettre d'estimer l'ampleur de ce biais potentiel. Dans le chapitre 7 (article 3), les ratios de taux de blessés liés à la position socioéconomique sont similaires à ceux rapportés par une étude montréalaise portant seulement sur les hospitalisations (Dougherty et al., 1990), ce qui suggère que ce biais, s'il existe, est faible ou similaire au biais engendré par l'utilisation de données hospitalières.

Une recherche idéale aurait bénéficié de comptages des véhicules et de piétons pour toutes les intersections ou pour un échantillon d'intersections représentatif et de taille suffisante. Pour l'instant, aucune ville ne dispose de telles données. L'estimation des volumes de piétons pour l'ensemble des sites d'une ville constitue en soi un défi de recherche. On ne connaît pas l'ampleur du biais associé à l'utilisation de proxy des volumes de marche provenant du recensement. La géométrie des routes et des intersections pourrait aussi être plus détaillée. Néanmoins, la présence d'artère(s) et le nombre de branches

reflètent deux dimensions majeures et distinctes du risque de collision : d'une part, les aménagements augmentant la capacité routière et la vitesse des véhicules et, d'autre part, le nombre de points de conflits entre les usagers de la route (Dumbaugh & Rae, 2009; Elvik & Dumbaugh, 2009).

D'autres limites sont inhérentes au devis ou aux analyses effectuées. Le devis transversal ne permet pas de prendre en compte l'évolution temporelle des facteurs ni leur succession chronologique. L'antériorité des facteurs environnementaux sur l'occurrence des collisions et des blessés est postulée mais ne peut être démontrée. Par exemple, un devis prospectif permettrait de mieux comprendre le phénomène de « safety in numbers », qui a toujours été rapporté par des études transversales (Jacobsen, 2003; Leden, 2002; Robinson, 2005a). Pour l'instant, nul ne sait si un grand nombre de piétons diminue la probabilité de collisions ou si les gens marchent davantage lorsque le risque de collisions est plus faible. Les analyses multi-niveaux effectuées permettent d'analyser les variations spatiales liées aux contextes (Diez-Roux, 1998). Dans l'article 2, le choix des arrondissements comme unité de niveau 2 procède de l'objectif d'étudier les variations spatiales potentiellement liées aux politiques locales en matière de transport. D'autres méthodes d'analyses géographiques, notamment les régressions géographiquement pondérées (« geographically weighted regressions ») permettent de prendre en compte le voisinage des intersections sans être limitées par les délimitations administratives. Ces méthodes seraient particulièrement appropriées pour illustrer la variation spatiale des impacts estimés d'une politique de mobilité durable sur le nombre de piétons blessés aux intersections.

### **Amélioration du modèle conceptuel initial**

Le modèle initialement développé pour cette thèse de doctorat (voir Figure A, chapitre 2) s'est avéré très fructueux, pour trois principales raisons. D'abord, il inclut des facteurs liés au volume d'exposition au risque : volumes de circulation automobile et volumes de déplacements à pieds. Ensuite, il distingue l'effet direct des aménagements sur la sécurité des piétons de l'effet indirect, via les volumes de trafic et de piétons. Enfin, il lie ces facteurs environnementaux à la distribution ainsi qu'à l'incidence du nombre de piétons blessés. Cette section vise à succinctement identifier les améliorations notables apportées au modèle conceptuel initial, en se basant sur les résultats de cette recherche et sur les nouvelles recherches publiées. La figure C illustre le nouveau modèle conceptuel.

Premièrement, dans la catégorie conceptuelle des « aménagements urbains », il faut distinguer les facteurs liés à la forme urbaine (ex. : densité d'habitation, mixité des usages, connectivité) de ceux liés plus spécifiquement au système de transport (ex. : infrastructures routières et de transports collectifs, géométrie des routes). La forme urbaine et la planification des transports sont nécessairement interdépendants, comme l'illustre le lien inverse entre la densité d'habitation et le nombre de kilomètres parcourus annuellement en voiture par les résidents (Frumkin, 2002), ou la corrélation positive entre la densité de destination dans un quartier et l'usage de la marche (Gauvin & al., 2008). Pour favoriser des modes de transports durables, l'aménagement du territoire et la planification des transports devraient être intégrées (Vuchic, 1999). Néanmoins, le modèle conceptuel publié par Ewing en 2009 distingue l'environnement bâti en deux catégories distinctes : « Development patterns » et « Roadway Designs ». Selon ce modèle, la forme urbaine et le système de transport ont tous les deux un effet indirect sur le nombre de blessés de la route, via des variables intermédiaires comme les volumes de circulation automobiles. La

planification des transports influence aussi le risque de collision et de blessures via la géométrie des routes et des intersections (articles 2 et 3; Miranda-Moreno & al., 2010).

Deuxièmement, le modèle initial ne détaille pas les aménagements urbains, qu'ils soient liés à la forme urbaine ou au système de transport. Or, cette thèse ainsi que d'autres études publiées au cours de la dernière décennie permettent de préciser le rôle spécifique de certaines caractéristiques liées à la forme urbaine ou au système de transport, telles que la densité de population (Frumkin, 2002), la ségrégation des fonctions et la hiérarchie du réseau routier (Dumbaugh & Rae, 2009), l'accès au transport collectif (Miranda-Moreno & al., 2010), la connectivité (article 2), etc.

Troisièmement, l'existence de points de conflits potentiels entre les trajets des différents usagers de la route augmente le risque de collisions et de blessures, indépendamment des volumes de trafic (Ewing & Dumbaugh, 2009; Lyon & Persaud, 2002). Dans cette thèse, la présence d'une quatrième branche à l'intersection est un indicateur du nombre de conflits potentiels entre les piétons et les automobilistes. Le modèle initial n'incluait pas explicitement les conflits ni la vitesse des véhicules un facteur qui influence à la fois l'occurrence des collisions et la sévérité des blessures. Dans cette thèse, la présence d'une artère est un indicateur indirect de la vitesse des véhicules, qui est fortement liée au type de routes notamment via la largeur de la chaussée (Ewing & Dumbaugh, 2009).

Quatrièmement, le modèle initial ne portait que sur les piétons. Or, notre recherche démontre des effets relativement similaires des volumes de trafic et de la géométrie des

intersections sur le nombre de cyclistes et d'automobilistes blessés. Ces derniers sont donc ajoutés dans le nouveau modèle conceptuel.

Cinquièmement, le modèle initial ne distingue pas explicitement le risque individuel de blessures, associé à une traversée d'intersection par exemple, du fardeau collectif mesuré par le nombre de piétons blessés. Le concept de « safety in numbers » postule un effet direct du nombre de piétons sur le risque individuel de blessure, ce qui est soutenu par plusieurs enquêtes transversales (Jacobsen, 2003; Leden, 2002; Robinson, 2005a), mais le mécanisme de cet effet présumé est purement spéculatif. Par contre, en milieu urbain, l'effet des volumes de marches et du nombre de piétons sur le fardeau collectif des piétons blessés est indéniable.

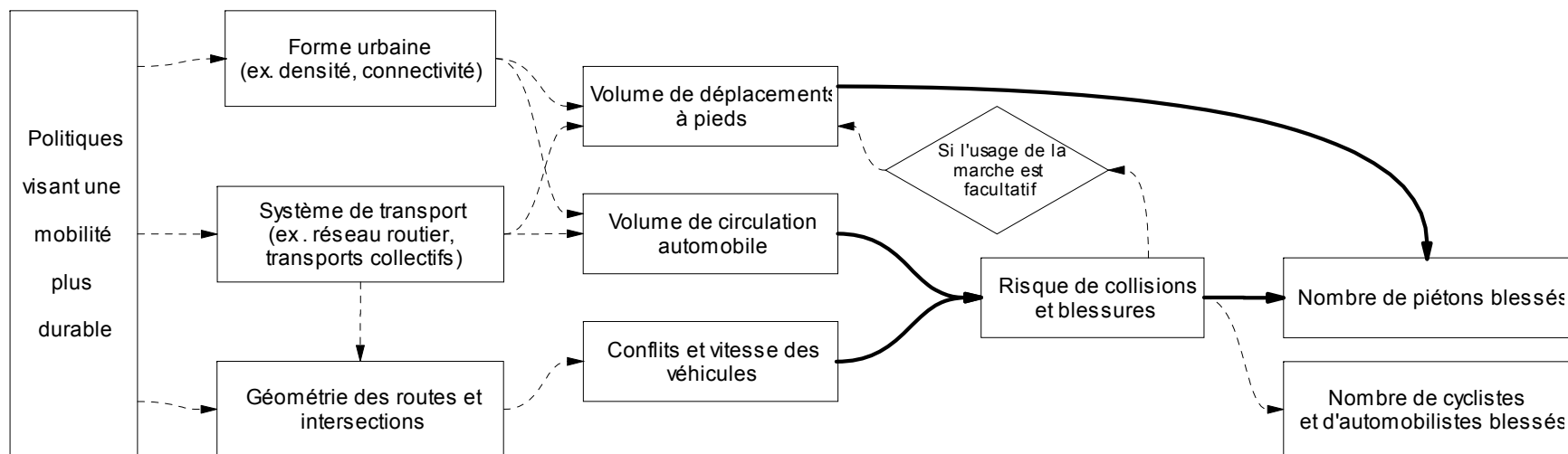
Sixièmement, le modèle initial n'illustre pas le gradient socio-économique des blessures. Or, cette recherche permet d'inclure le niveau socio-économique des résidents d'un quartier dans un modèle conceptuel, tel qu'illustré à la figure 2 de l'article 3. De plus, l'effet présumé de la sécurité des piétons sur les volumes de marche illustré dans le modèle initial semble lié au niveau socio-économique des personnes. En théorie, un volume de trafic élevé et des trajets moins sécuritaires peuvent avoir un effet dissuasif sur l'usage de la marche (Pikora & al., 2003). À l'échelle des intersections, des comptages dans un quartier urbain densément peuplé démontrent que le nombre de piétons aux intersections est corrélé négativement au pourcentage d'artère dans le secteur (Miranda-Moreno & al., 2010). Par contre, l'usage de la marche est plus fréquente dans les quartiers pauvres, exposés à davantage de trafic et d'artères (article 3) ou à des aménagements moins sécuritaires (Gauvin et al., 2005). L'effet dissuasif d'un risque plus élevé de collisions varie vraisemblablement selon le niveau socio-économique des personnes (Pabayo & al., 2010).



Il va de soi que pour les personnes ne possédant pas de voiture – près de la moitié (49 %) des ménages dans les quartiers pauvres - l'usage de la marche n'est pas facultatif. De plus, même les trajets sont partiellement contraints puisque dans les quartiers centraux montréalais, les écoles, les services de santé, etc., sont fréquemment situés sur des artères majeures (Drouin et al., 2007a).

Enfin, les politiques visant une mobilité plus durable visent désormais la réduction des volumes de circulation et l'augmentation de la marches et du vélo (Woodcock & al., 2009). Dans le nouveau modèle, ces politiques remplacent la rétroaction présumée des volumes de trafic et de piétons sur les aménagements urbains, incluent dans le modèle initial. Ces politiques s'appliquent à différentes échelles - région métropolitaine, arrondissements, routes et intersections – qui ne sont pas illustrées dans le modèle final.

**Figure C : Modèle conceptuel des déterminants environnementaux de la sécurité des piétons qui font l’objet de la thèse de doctorat (modèle révisé, mars 2010)**



Note : Les liens continus font spécifiquement l’objet de la thèse.





## CHAPITRE 9 - CONCLUSION

Plusieurs choix initiaux distinguent d'emblée cet ensemble d'études des autres recherches réalisées dans le domaine de la santé publique sur la problématique des piétons blessés. Premièrement, elle porte sur les facteurs environnementaux plutôt que sur les facteurs comportementaux. Deuxièmement, contrairement à la majorité des études épidémiologiques menées depuis quarante ans, l'unité d'analyse choisie est environnementale plutôt qu'individuelle. Enfin, l'unité d'analyse choisie, le réseau routier et les intersections, la distingue des études écologiques portant sur des facteurs environnementaux agrégés à l'échelle d'un quartier.

Cette thèse démontre l'ampleur et l'étendue du problème des piétons blessés par un véhicule à moteur dans un milieu urbain (voir article 1). Elle contribue à une meilleure compréhension de ce problème de santé publique en quantifiant l'effet des causes principales de ce fléau : les volumes de circulation et la géométrie des routes (voir article 2). Elle permet aussi d'élucider les causes plausibles des variations spatiales du nombre de piétons blessés et, plus particulièrement, le mécanisme expliquant le gradient socio-économique observé dans les taux de piétons blessés (voir article 3).

En Europe comme en Amérique, aujourd'hui, de nombreuses administrations publiques envisagent un changement de paradigme en matière de transports en milieu urbain : réduction des volumes de trafic au profit des modes de transports actifs et collectifs; implantation de mesures d'apaisement de circulation à grande échelle; amélioration des infrastructures urbaines dédiées spécifiquement aux piétons et aux

cyclistes ; etc. Au Québec, la DSP tente d'orienter la planification des transports vers une mobilité plus durable (Drouin & al., 2006). L'estimation des impacts sur la santé publique d'une politique de mobilité durable appliquée à l'échelle d'une ville constitue désormais un objet de recherche ainsi qu'un enjeu de santé publique (Joffe & Mindell, 2003; Thomson & al., 2008; Woodcock & al., 2009).

Cette thèse pourrait contribuer à améliorer l'évaluation de l'impact des politiques de transport et des pratiques locales visant une mobilité plus durable. Elle rappelle l'importance fondamentale des volumes de trafic, un indicateur lié à de nombreux autres problèmes de santé publique, via la pollution de l'air, l'inactivité physique, le bruit, etc. (British Medical Association, 1997; Dora, 1999; Drouin & al., 2006; Litman, 2003; Smargiassi & al., 2006; Seto & al., 2007; Woodcock & al., 2007; Woodcock & al., 2009). Elle démontre aussi l'impact direct de la géométrie des routes, liée aux pratiques d'ingénierie.

Les résultats de cette thèse pourraient bouleverser certaines pratiques actuelles des professionnels de la santé publique. La promotion de la marche ne prend pas toujours en considération le risque de collisions et de blessures ni l'impact d'une augmentation des volumes de marche sur le nombre total de piétons blessés. Pour être cohérentes, les stratégies préventives doivent intégrer la promotion d'environnements sécuritaires et favorables à la marche, sinon elles pourraient engendrer une détérioration du bilan routier.

Cette thèse met à nu un autre paradoxe : les quartiers urbains les plus pauvres, où les résidents marchent davantage, sont exposés à un risque de collision plus élevé. Ce risque plus élevé, attribuable en grande partie aux volumes de trafic et à la géométrie des routes,

s'applique à tous les usagers de la route circulant dans les quartiers les plus pauvres. Ainsi, pour réduire le gradient socioéconomique des taux de piétons blessés, il semble bien qu'il faudra s'attaquer aux causes fondamentales, structurelles de ces inégalités.





## RÉFÉRENCES

- Adams, J. G. U. (1987). Smeed's Law: some further thoughts. *Traffic Engineering and Control, (Feb)*: 70-73.
- Agence Métropolitaine du Transport (2000). *Enquête Origine-Destination 1998, la mobilité, des personnes dans la région de Montréal*. 174p.
- Agence Métropolitaine du Transport (2005). *Enquête Origine-Destination 2003, la mobilité, des personnes dans la région de Montréal : Faits saillants*.
- Agran, P. F., Castillo, D. N., & Winn, D. G. (1990). Limitations of data compiled from police reports on pediatric pedestrian and bicycle motor vehicle events. *Accid Anal Prev, 22*: 361-370.
- Agran, P. F., Winn, D. G., Anderson, C. L., Tran, C., & Del Valle, C. P. (1996). The role of the physical and traffic environment in child pedestrian injuries. *Pediatrics, 9*: 1096-1103.
- Allard, R. (1982). Excess mortality from traffic accidents among elderly pedestrians living in the inner city. *Am J Public Health, 72*: 853-854.
- Association des transports du Canada (2001). *Guide canadien d'aménagement des rues conviviales*.
- Association Mondiale de la Route (AIPCR) (2003). *Manuel de la sécurité routière*. 602 p.
- 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, 16*: 212-218.
- Boer, R., Zheng, Y., Overton, A., Ridgeway, G.K., & Cohen, D.A. (2007). Neighborhood design and walking trips in ten U.S. metropolitan areas. *Am J Prev Med, 32(4)*: 298-304.
- Bourbeau, R. 1983. *Les accidents de la route au Québec, 1926-1978*, Montréal : Presses de l'Université de Montréal.
- Braddock, M., Lapidus, G., Cromley, E., Cromley, R., Burke, G., & Banco, L. (1994). Using a geographic information system to understand child pedestrian injury. *Am J Public Health, 84*: 1158-1161.
- British Medical Association (BMA) (1997). *Road transport and health*.
- Buck, C. (1985). Beyond Lalonde-creating health. *Can J Public Health, 76 Suppl 1*: 19-24.

- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (1999). Motor-vehicle safety: a 20th century public health achievement. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 48: 369-374.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2005). Barriers to children walking to or from school-United States, 2004 (2005). *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 54: 949-952.
- Cervero, R. & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3 Ds: density, diversity and design. *Transportation Research part D*, 2(3): 199-219.
- Chapleau, R. (2004). Les pieds, les pauvres et le métro. *Routes et transports*: 35-46.
- Chapleau, R. & Lavigueur, P. (1994). L'usage du mode piétonnier : caractérisation légère des montréalais. *Routes et transports*: 6-11.
- Chapman, R. (1973). The concept of exposure. *Accid Anal Prev*, 5: 95-110.
- Chin, G. K., Van Niel, K. P., Giles-Corti, B., & Knuiiman, M. (2008). Accessibility and connectivity in physical activity studies: the impact of missing pedestrian data. *Prev Med* 2008.Jan.;46(1): 41-45.
- Cleveland, W. S. & Devlin, S.J. (1988). Locally Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting. *Journal of the American Statistical Association*, 83: 596- 610.
- Clifton, K. J. & Kreamer-Fults, K. (2007). An examination of the environmental attributes associated with pedestrian-vehicular crashes near public schools. *Accid Anal Prev*, 39: 708-715.
- Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM) & Transports Canada (2004). Rapport annuel 2002 : Vision sécurité routière 2010, vers les routes les plus sûres au monde. Canada
- Cryer, P. C., Westrup, S., Cook, A. C., Ashwell, V., Bridger, P., & Clarke, C. (2001). Investigation of bias after data linkage of hospital admissions data to police road traffic crash reports. *Inj Prev*, 7: 234-241.
- Cubbin, C., LeClere, F. B., & Smith, G. S. (2000). Socioeconomic status and injury mortality: individual and neighbourhood determinants. *J Epidemiol Community Health*, 54: 517-524.
- Dhillon, P. K., Lightstone, A. S., Peek-Asa, C., & Kraus, J. F. (2001). Assessment of hospital and police ascertainment of automobile versus childhood pedestrian and bicyclist collisions. *Accid Anal Prev*, 33: 529-537.
- Diez-Roux, A. V. (1998). Bringing context back into epidemiology: variables and fallacies in multilevel analysis. *Am J Public Health*, 88: 216-222.

- DiGiuseppi, C., Li, L., & Roberts, I. (1998). Influence of travel patterns on mortality from injury among teenagers in England and Wales, 1985-95: trend analysis. *BMJ*, *316*: 904-905.
- DiGiuseppi, C., Roberts, I., & Li, L. (1997). Influence of changing travel patterns on child death rates from injury: trend analysis. *BMJ*, *314*: 710-713.
- Dora, C. (1999). A different route to health: implications of transport policies. *BMJ*, *318*: 1686-1689.
- Dougherty, G., Pless, B., & Wilkins, R. (1990). Social Class and the Occurrence of Traffic Injuries and Deaths in Urban Children. *Can J Public Health*, *81*: 204-209.
- Drouin, L., Morency, P., King, P., Thérien, F., Lapierre, L., & Gosselin, G. (2006). *Le transport urbain, une question de santé*. Montréal : Agence de la santé et des services sociaux; Direction de santé publique.
- Drouin, L., Morency, P., Thérien, F. et King, N. (2007a). *Mémoire sur le projet de révision du réseau artériel. Présenté à la Commission permanente du Conseil municipal sur le transport, la gestion des infrastructures et l'environnement*. Montréal : Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.
- Drouin, L., Thérien, F., Morency, P., King, N., Perron, S., Paquin, S. (2007b). *Pour une approche globale de la sécurité routière- Mémoire sur les projets de loi no 42 et no 55. Présenté à la Commission des transports et de l'environnement, Assemblée nationale du Québec*. Montréal : Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.
- Drouin, L., Thérien, F., Morency, P., Paquin, S., Perron, S. et King, N. (2008). *Moderniser la mobilité. Présenté dans le cadre des consultations publiques sur le Projet de modernisation de la rue Notre-Dame: volet intégration urbaine*. Montréal : Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.
- Lessard, R., Drouin, L., King, N., Thérien, F., Morency, P., Perron, S., Paquin, S. (2009). *Mémoire du directeur de santé publique sur le projet de reconstruction du complexe Turcot*. Montréal : Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.
- Danielsson, S. (1986). A comparison of two methods for estimating the effect of a countermeasure in the presence of regression effects. *Accid Anal Prev*, *18*: 13-23.
- Duany, A., Plater, E., & Speck, J. (2000). *The Rise of Sprawl Suburban and the Decline of Nation the American Dream*. New York: North Point Press.
- Dumbaugh, E. & Rae, R. (2009). Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety. *Journal of the American Planning Association*, *75*: 309-329.

- Duperrex, O., Bunn, F., & Roberts, I. (2002). Safety education of pedestrians for injury prevention: a systematic review of randomised controlled trials. *BMJ*, *324*: 1129.
- Elvik, R. (1997). Evaluations of road accident blackspot treatment: a case of the Iron Law of Evaluation Studies? *Accid Anal Prev*, *29*: 191-199.
- Elvik, R. (2001). Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accid Anal Prev*, *33*: 327-336.
- Elvik, R. (2009). The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. *Accid Anal Prev*, *41*(4): 849-55.
- Ewing, R. (1999). *Traffic calming; state of the practice*. Institute of transportation engineers; Federal highway administration.
- Ewing, R. & Dumbaugh, E. (2009). The Built Environment and Traffic Safety: A Review of Empirical Evidence. *Journal of Planning Literature*, *23*: 347-367.
- Ewing, R., Schieber, R. A., & Zegeer, C. V. (2003). Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. *Am J Public Health*, *93*: 1541-1545.
- Ewing, R., Schmid, T., Killingsworth, R., Zlot, A., & Raudenbush, S. (2003). Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity. *Am J Health Promot*, *18*: 47-57.
- Fahlquist, J. N. (2006). Responsibility ascriptions and Vision Zero. *Accid Anal Prev*, *38*: 1113-1118.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2004). *Signalized Intersections: Informational Guide*. Report No. FHWA-HRT-04-091. U.S. Department of Transportation.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2010). *Traffic Volume Trends*. U.S. Department of Transportation. [<http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/tvtpage.htm> (march 2010)].
- Fridström, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., & Thomsen, L. K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accid Anal Prev*, *27*: 1-20.
- Frohlich, K. L. & Potvin, L. (2008). Transcending the known in public health practice: the inequality paradox: the population approach and vulnerable populations. *Am J Public Health*, *98*: 216-221.
- Frumkin, H. (2002). Urban sprawl and public health. *Public Health Rep*, *117*: 201-217.
- Garder, P. E. (2004). The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine. *Accid Anal Prev*, *36*: 533-542.

- Gauvin, L., Richard, L., Craig, C. L., Spivock, M., Riva, M., Forster, M. et al. (2005). From walkability to active living potential: an "ecometric" validation study. *Am J Prev Med*, 28: 126-133.
- Gauvin, L., Riva, M., Barnett, T., Richard, L., Craig, C. L., Spivock, M. et al. (2008). Association between neighborhood active living potential and walking. *Am J Epidemiol*, 167: 944-953.
- Geurts, K. & Wets, G. (2003). Black spot analysis methods: Literature review. Steunpunt Verkeersveiligheid bij Stijgende Mobiliteit. RA-2003-07. 30 p.
- Geurts, K., Wets, G., Brijs, T. & Vanhoff, K. (2005). Ranking and selecting dangerous accident locations: case study. *Urban Transport XI: Wessex Institute of Technology*. p. 229-38.
- Graham, D., Glaister, S., & Anderson, R. (2005). The effects of area deprivation on the incidence of child and adult pedestrian casualties in England. *Accid Anal Prev*, 37: 125-135.
- Graham, D. J. & Glaister, S. (2003). Spatial Variation in Road Pedestrian Casualties: The Role of Urban Scale, Density and Land-use Mix. *Urban.Studies*, 40(8): 1591-1607.
- Graham, D. J. & Stephens, D. A. (2008). Decomposing the impact of deprivation on child pedestrian casualties in England. *Accid Anal Prev*, 40: 1351-1364.
- Green, J. & Edwards, P. (2008). The limitations of targeting to address inequalities in health: a case-study of road traffic injury prevention from the UK. *Critical Public Health*, 18(2): 175-187.
- Green, L. W., Richard, L., & Potvin, L. (1996). Ecological foundations of health promotion. *Am J Health Promot*, 10: 270-281.
- Green, R. S., Smorodinsky, S., Kim, J. J., McLaughlin, R., & Ostro, B. (2004). Proximity of California public schools to busy roads. *Environ Health Perspect*, 112: 61-66.
- 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: b4469.
- Gunier, R. B., Hertz, A., Von Behren, J., & Reynolds, P. (2003). Traffic density in California: socioeconomic and ethnic differences among potentially exposed children. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 13: 240-246.
- Haddon, W., Jr. (1970). On the escape of tigers: an ecologic note. *Am J Public Health Nations Health*, 60: 2229-2234.
- Haddon, W., Jr. (1973). Energy damage and the ten countermeasure strategies. *J Trauma*, 13: 321-331.

- Haddon, W., Jr. (1974). Editorial: Strategy in preventive medicine: passive vs. active approaches to reducing human wastage. *J Trauma*, 14: 353-354.
- Haddon, W., Jr. (1980). Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy. *Public Health Rep*, 95: 411-421.
- Haddon, W., Jr. (1995). Energy damage and the 10 countermeasure strategies. 1973. *Inj Prev*, 1: 40-44.
- Hamel, D. & Pampalon, R. (2002). *Trauma and deprivation in Quebec*. Québec : Institut national de santé publique du Québec.
- Hauer, E., Jerry, C. N., & Lovell, J. (1988). Estimation of safety at signalized intersections. *Transportation Research Record 1185*, 48-61.
- Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Inj Prev*, 9: 205-209.
- Jacobsen, P. L. (2006). Why we fight about black spots. *Inj Prev*, 12: 356-357.
- Joffe, M. & Mindell, J. (2003). Congestion charging. Walking classes also need road space reallocation. *BMJ*, 326: 884.
- Johnston, I. (2004). Reducing injury from speed related road crashes. *Inj Prev*, 10: 257-259.
- Joly, M. F., Foggin, P., & Pless, I. (1991a). Socioecological determinants of the risk of accidents in young pedestrians. *Rev Epidemiol Sante Publique*, 39: 345-351.
- Joly, M. F., Foggin, P. M., & Pless, I. B. (1991b). Geographical and socio-ecological variations of traffic accidents among children. *Soc Sci Med*, 33: 765-769.
- Joly, M. F., Foggin, P. M., Zvagulis, I., & Pless, I. B. (1989). Bicycle accidents among children in the urban environment. *Can J Public Health*, 80: 351-354.
- Jonah, B. & Engel, G. (1983). Measuring the relative risk of pedestrian accidents. *Accid Anal Prev*, 15(3): 193-206.
- Jones, S. J., Lyons, R. A., John, A., & Palmer, S. R. (2005). Traffic calming policy can reduce inequalities in child pedestrian injuries: database study. *Inj Prev*, 11: 152-156.
- Julien, A. & Carré, J. (2002). Risk exposure during pedestrian journeys [French]. *Recherche Transports Sécurité*, 76: 173-189.
- Keall, M. D. (1995). Pedestrian exposure to risk of road accident in New Zealand. *Accid Anal Prev*, 27: 729-740.

- Killingsworth, R. E. (2003). Health promoting community design: a new paradigm to promote healthy and active communities. *Am J Health Promot*, 17: 169-70, ii.
- Kindig, D. & Stoddart, G. (2003). What is population health? *Am J Public Health*, 93: 380-383.
- King, M. R., Carnegie, J. A., & Ewing, R. (2003). Pedestrian Safety Through a Raised Median and Redesigned Intersections. *Transportation Research Record* 1828: 56-66.
- Kjemtrup, K. & Herrstedt, L. (1992). Speed management and traffic calming in urban areas in Europe: a historical view. *Accid Anal Prev*, 24: 57-65.
- Knoflacher H. (2009). From myth to science in urban and transport planning: From uncontrolled to controlled and responsible urban development in transport planning. *Int J Inj Contr Saf Promot* 16: 3-7.
- Kopits, E. & Cropper, M. (2005). Traffic fatalities and economic growth. *Accid Anal Prev*, 37: 169-178.
- Krieger, N. (1994). Epidemiology and the web of causation: has anyone seen the spider? *Soc Sci Med*, 39: 887-903.
- Laflamme, L. (2001). Explaining socio-economic differences in injury risks. *Inj Control Saf Promot*, 8(3): 149-153.
- Laflamme, L., Burrows, S., Hasselberg, M. (2009). *Socioeconomic differences in injury risks; A review of findings and a discussion of potential countermeasures*. World Health Organization 136 p.
- Laflamme, L. & Diderichsen, F. (2000). Social differences in traffic injury risks in childhood and youth. A literature review and a research agenda. *Inj Prev*, 6: 293-298.
- Langley, J. D., Dow, N., Stephenson, S., & Kypri, K. (2003). Missing cyclists. *Inj Prev*, 9: 376-379.
- Laplante, J. & McCann B. (2008). Complete Streets : We Can Get There from Here. *Institute of Transportation Engineers Journal*: 24-28.
- Lascaia, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. (2000). Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accid Anal Prev*, 32: 651-658.
- Lascaia, E. A., Gruenewald, P. J., & Johnson, F. W. (2004). An ecological study of the locations of schools and child pedestrian injury collisions. *Accid Anal Prev*, 36: 569-576.

- Lascala, E. A., Johnson, F. W., & Gruenewald, P. J. (2001). Neighborhood characteristics of alcohol-related pedestrian injury collisions: a geostatistical analysis. *Prev Sci*, 2: 123-134.
- Lassarre, S., Papadimitriou, E., Yannis, G., & Golias, J. (2007). Measuring accident risk exposure for pedestrians in different micro-environments. *Accid Anal Prev*, 39: 1226-1238.
- Last, J.M. (1995). *A Dictionary of Epidemiology*. 3rd ed. USA: Oxford University Press. 208 p.
- Leden, L. (2002). Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. *Accid Anal Prev*, 34: 457-464.
- Leden, L., Garder, P., & Pulkkinen, U. (2000). An expert judgment model applied to estimating the safety effect of a bicycle facility. *Accid Anal Prev*, 32: 589-599.
- 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: 455-461.
- Lee, C. & Abdel-Aty, M. (2005). Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida. *Accid Anal Prev*, 37: 775-786.
- Lefler, D. E. & Gabler, H. C. (2004). The fatality and injury risk of light truck impacts with pedestrians in the United States. *Accid Anal Prev*, 36: 295-304.
- Lessard, R., Drouin, L., Thérien, F., King, N., Morency, P., Moisan, J.L. et Pinard, M. (2007). *Mémoire sur le Plan de transport de Montréal. Présenté à la Commission de l'agglomération montréalaise sur l'environnement, le transport et les infrastructures*. Montréal : Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.
- Liberman, M., Mulder, D. S., Lavoie, A., & Sampalis, J. S. (2004). Implementation of a trauma care system: evolution through evaluation. *J Trauma*, 56: 1330-1335.
- Lightstone, A. S., Dhillon, P. K., Peek-Asa, C., & Kraus, J. F. (2001). A geographic analysis of motor vehicle collisions with child pedestrians in Long Beach, California: comparing intersection and midblock incident locations. *Inj Prev*, 7: 155-160.
- Litman, T. (2003). Integrating public health objectives in transportation decision-making. *Am J Health Promot*, 18: 103-108.
- Litman, T. (2004). *Distance-Based Vehicle Insurance Feasibility, Costs and Benefits. Comprehensive Technical Report*. Victoria, BC: Victoria Transport Policy Institute. ([www.vtpi.org](http://www.vtpi.org)).



- Litman, T. & Fitzroy, S. (2009). *Safe Travels : Evaluating Mobility Management Traffic Safety Impacts*. Victoria, BC: Victoria Transport Policy Institute.
- Lourens, P. F., Vissers, J. A., & Jessurun, M. (1999). Annual mileage, driving violations, and accident involvement in relation to drivers' sex, age, and level of education. *Accid Anal Prev*, 31: 593-597.
- Lovegrove, G. R. & Sayed, T. (2009). Macro-level collision prediction models for evaluating neighbourhood traffic safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(5): 609-621.
- Lu, T. H., Chiang, T. L., & Lynch, J. W. (2005). What can we learn from international comparisons of social inequalities in road traffic injury mortality? *Inj Prev*, 11: 131-133.
- Lyon, C. & Persaud, B. (2002). Pedestrian Collision Prediction Models for Urban Intersections. *Transportation Research Record 1818*: 102-107.
- Lyons, R. A., Jones, S. J., Newcombe, R. G., & Palmer, S. R. (2006). The influence of local politicians on pedestrian safety. *Inj Prev*, 12, 312-315.
- Macintyre, S., & Ellaway, A. (2000). Ecological approaches: Rediscovering the Role of the Physical and Social Environment, in Berkman L.F. & Kawachi I. *Social Epidemiology*, New York: Oxford University Press, p. 332-348.
- Macintyre, S., Ellaway, A., & Cummins, S. (2002). Place effects on health: how can we conceptualise, operationalise and measure them? *Soc.Sci.Med.*, 55: 125-139.
- Macpherson, A., Roberts, I., & Pless, I. B. (1998). Children's exposure to traffic and pedestrian injuries. *Am J Public Health*, 88: 1840-1843.
- Marwick, C. (1992). Traffic death toll may be declining, but experts not ready to celebrate. *JAMA*, 268: 301.
- Massie, D. L., Campbell, K. L., & Williams, A. F. (1995). Traffic accident involvement rates by driver age and gender. *Accid Anal Prev*, 27: 73-87.
- Marmot, M. G. (1998). Improvement of social environment to improve health. *Lancet*, 351: 57-60.
- Messier, S. & Bourbeau, R. (1989). *Les sites dangereux sur l'île de Montréal et les accidents de la circulation routière 1984-1986*. Montréal : Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.
- Meuleners, L. B., Hendrie, D., Lee, A. H. & Legge, M. (2008). Effectiveness of the black spot programs in Western Australia. *Accid Anal Prev*, 40: 1211-1216.

- Miaou, S. P. & Song, J. J. (2005). Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: decision parameter, treatability concept, statistical criterion, and spatial dependence. *Accid Anal Prev*, 37: 699-720.
- Mindell, J., Sheridan, L., Joffe, M., Samson-Barry, H., & Atkinson, S. (2004). Health impact assessment as an agent of policy change: improving the health impacts of the mayor of London's draft transport strategy. *J Epidemiol Community Health*, 58(3):169-174.
- Ministère des transports du Québec (2001). *Politique de sécurité dans les transports (2001-2005) volet routier*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Miranda-Moreno, L.F., Morency, P., & El-Geneidy, A.M. (2010). *How does built environment influence pedestrian activity and pedestrian collisions at intersections?* Washington D.C., USA: Paper presented at the 89th Transportation Research Board Annual Meeting.
- Mohan, D. (2002). Road safety in less-motorized environments: future concerns. *Int J Epidemiol*, 31 : 527-532. Mohan, D. & Roberts, I. (2001). Global road safety and the contribution of big business. *BMJ*, 323: 648.
- Mohan, D. (2008). Traffic safety and city structure: lessons for the future. *Salud Publica Mex*, 50 suppl 1:S93-S100.
- Mohan, D. & Roberts, I. (2001). Global road safety and the contribution of big business. *BMJ*, 323: 648.
- Mohan, D. Tiwari, G., Khayesi, M., Nafukho, F. M. (2006). *Road Traffic Injury Prevention Training Manual*. Geneva: World Health Organization. 113 p.
- Montella, A. (2010). A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accid Anal Prev*, 42: 571-581.
- Morency, P. (2006). *Analyse des hospitalisations de blessés de la route (MED-ECHO)*. Données brutes non publiées.
- Morency, P. & Cloutier, M. S. (2005). *Distribution géographique des blessés de la route sur l'île de Montréal (1999-2003): Cartographie pour les 27 arrondissements*. Direction de santé publique de l'Agence de santé et des services sociaux de Montréal.
- Morency, P. & Cloutier, M. S. (2006). From targeted "black spots" to area-wide pedestrian safety. *Inj Prev*, 12: 360-364.
- Morgenstern, H. (1982). Uses of ecologic analysis in epidemiologic research. *Am J Public Health*, 72: 1336-1344.

- Morrison, D. S., Thomson, H., & Peticrew, M. (2004). Evaluation of the health effects of a neighbourhood traffic calming scheme. *J Epidemiol Community Health, 58*: 837-840.
- Mueller, B. A., Rivara, F. P., Lii, S. M., & Weiss, N. S. (1990). Environmental factors and the risk for childhood pedestrian-motor vehicle collision occurrence. *Am J Epidemiol, 132*: 550-560.
- Nakahara, S., Nakamura, Y., Ichikawa, M., & Wakai, S. (2004). Relation between increased numbers of safe playing areas and decreased vehicle related child mortality rates in Japan from 1970 to 1985: a trend analysis. *J Epidemiol Community Health, 58*: 976-981.
- National Highway Traffic Safety Administration (2008). *National Pedestrian Crash Report - DOT HS 810 968*. U.S.Department of Transportation.
- Oppe, S. (1991). Development of traffic and traffic safety: global trends and incidental fluctuations. *Accid Anal Prev, 23*, 413-422.
- Organisation Mondiale de la santé (OMS) (2003). *Rapport sur la santé dans le monde*.
- Pabayo, R., Gauvin, L., Morency, P., Barnett, T., Nikiéma, B., Séguin, L. (2010). *Understanding the Determinants of Active Transportation to School among Children Living in Poverty: Evidence of Environmental Injustice from the Quebec Longitudinal Stud of Child Development*. Active Living Research Annual Conference, February 9-11, 2010; San Diego, CA.
- Parker, J. & Zegeer C. V. (1989). *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operation - Observers manual*. Federal Highway Administration. U.S.Department of Transportation.
- Peden, M., Scurfield, R., & Sleet, D. (2004). *Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation*. Genève : Organisation mondiale de la santé (OMS).
- Peek-Asa, C. & Zwerling, C. (2003). Role of environmental interventions in injury control and prevention. *Epidemiol Rev, 25*: 77-89.
- Pikora, T. J., Giles-Corti, B., Bull, F. C., & Jamrozik, K. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Soc Sci Med, 56*: 1693-1703.
- Pless, I. B., Verreault, R., & Tenina, S. (1989). A case-control study of pedestrian and bicyclist injuries in childhood. *Am J Public Health, 79*: 995-998.
- Posner, J. C., Liao, E., Winston, F. K., Cnaan, A., Shaw, K. N., & Durbin, D. R. (2002). Exposure to traffic among urban children injured as pedestrians. *Inj Prev, 8*: 231-235.

- Priyantha Wedagama, D. M., Bird, R. N., & Metcalfe, A. V. (2006). The influence of urban land-use on non-motorised transport casualties. *Accid Anal Prev*, 38: 1049-1057.
- Pucher, J. & Dijkstra, L. (2003). Promoting safe walking and cycling to improve public health: lessons from The Netherlands and Germany. *Am J Public Health*, 93: 1509-1516.
- Pulugurtha, S. S., Krishnakumar, V. K., & Nambisan, S. S. (2007). New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: an illustration. *Accid Anal Prev*, 39: 800-811.
- Rao, R., Dening, T., Brayne, C., & Huppert, F. A. (1997a). Attitudes toward death: a community study of octogenarians and nonagenarians. *Int Psychogeriatr*, 9: 213-221.
- Rao, R., Hawkins, M., & Guyer, B. (1997b). Children's exposure to traffic and risk of pedestrian injury in an urban setting. *Bull N Y Acad Med*, 74: 65-80.
- Raudenbush, S.W., Bryk, A. 2002. *Hierarchical Linear Models; Applications and Data Analysis Methods. Second edition. Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences Series.* Sage Publications, inc.
- Reinhardt-Rutland, A. H. (2001). Seat-belts and behavioural adaptation: the loss of looming as a negative reinforcer. *Safety science*, 39: 145-155.
- Retting, R. A., Weinstein, H. B., Williams, A.F. & Preusser, D. F. (2001). A simple method for identifying and correcting crash problems on urban arterial streets. *Accid Anal Prev*, 33: 723-734.
- Retting, R. A., Ferguson, S. A., & McCartt, A. T. (2003). A review of evidence-based traffic engineering measures designed to reduce pedestrian-motor vehicle crashes. *Am J Public Health*, 93: 1456-1463.
- Richard, L., Gauvin, L., Gosselin, C., Ducharme, F., Sapinski, J. P., & Trudel, M. (2008). Integrating the ecological approach in health promotion for older adults: a survey of programs aimed at elder abuse prevention, falls prevention, and appropriate medication use. *Int J Public Health*, 53: 46-56.
- Richards, T. B., Croner, C. M., Rushton, G., Brown, C. K., & Fowler, L. (1999). Geographic information systems and public health: mapping the future. *Public Health Rep*, 114: 359-360.
- Richter, E. D., Barach, P., Ben Michael, E., & Berman, T. (2001). Death and injury from motor vehicle crashes: a public health failure, not an achievement. *Inj Prev*, 7: 176-178.
- Rivara, F. P. (2003). Introduction: the scientific basis for injury control. *Epidemiol Rev*, 25: 20-23.

- Roberts, I. (1993). Why have child pedestrian death rates fallen? *BMJ*, *306*: 1737-1739.
- Roberts, I., Ashton, T., Dunn, R., & Lee-Joe, T. (1994). Preventing child pedestrian injury: pedestrian education or traffic calming? *Aust J Public Health*, *18*: 209-212.
- Roberts, I., Carlin, J., Bennett, C., Bergstrom, E., Guyer, B., Nolan, T. et al. (1997). An international study of the exposure of children to traffic. *Inj Prev*, *3*: 89-93.
- Roberts, I. & Crombie, I. (1995a). Child pedestrian deaths: sensitivity to traffic volume, evidence from the USA. *J Epidemiol Community Health*, *49*: 186-188.
- Roberts, I., Marshall, R., & Norton, R. (1992). Child pedestrian mortality and traffic volume in New Zealand. *BMJ*, *305*: 283.
- Roberts, I., Norton, R., Jackson, R., Dunn, R., & Hassall, I. (1995b). Effect of environmental factors on risk of injury of child pedestrians by motor vehicles: a case-control study. *BMJ*, *310*: 91-94.
- Roberts, I., Wentz, R., & Edwards, P. (2006). Car manufacturers and global road safety: a word frequency analysis of road safety documents. *Inj Prev*, *12*: 320-322.
- Robinson, D. L. (2005). Safety in numbers in Australia: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Health Promot J Austr*, *16*: 47-51.
- Rose, G. (1985). Sick individuals and sick populations. *Int J Epidemiol*, *14*: 32-38.
- Rose, G. (1992). *The strategy of preventive medicine*. Oxford Medical Publications.
- Rosman, D. L. & Knuiman, M. W. (1994). A comparison of hospital and police road injury data. *Accid Anal Prev*, *26*: 215-222.
- Routledge, D. A., Repetto-Wright, R., & Howarth, C. I. (1996). The exposure of young children to accident risk as pedestrians. *Inj Prev*, *2*: 150-161.
- Runyan, C. W. (1998). Using the Haddon matrix: introducing the third dimension. *Inj Prev*, *4*: 302-307.
- Runyan, C. W. (2003). Introduction: back to the future – revisiting Haddon's conceptualization of injury epidemiology and prevention. *Epidemiol Rev*, *25*: 60-64.
- Sahai, V. S., Ward, M. S., Zmijowskyj, T., & Rowe, B. H. (2005). Quantifying the iceberg effect for injury: using comprehensive community health data. *Can J Public Health*, *96*: 328-332.
- Sampalis, J. S., Tamim, H., Nikolis, A., Lavoie, A., & Williams, J. I. (1996). Predictive validity and internal consistency of the pre-hospital index measured on-site by physicians. *Accid Anal Prev*, *28*: 675-684.

- Schuurman, N., Cinnamon, J., Crooks, V. A., & Hameed, S. M. (2009). Pedestrian injury and the built environment: an environmental scan of hotspots. *BMC Public Health, 9*: 233.
- Sciortino, S., Vassar, M., Radetsky, M., & Knudson, M. M. (2005). San Francisco pedestrian injury surveillance: mapping, under-reporting, and injury severity in police and hospital records. *Accid Anal Prev, 37*: 1102-1113.
- Sebert Kuhlmann, A. K., Brett, J., Thomas, D., & Sain, S. R. (2009). Environmental characteristics associated with pedestrian-motor vehicle collisions in Denver, Colorado. *Am J Public Health, 99*: 1632-1637.
- Seto, E. Y., Holt, A., Rivard, T., & Bhatia, R. (2007). Spatial distribution of traffic induced noise exposures in a US city: an analytic tool for assessing the health impacts of urban planning decisions. *Int J Health Geogr, 6*: 24.
- Sivak, M. (2009). Mechanisms involved in the recent large reductions in US road fatalities. *Inj Prev, 15*: 205-206.
- Sivak, M. & Tsimhoni, O. (2008). Improving traffic safety: conceptual considerations for successful action. *J Safety Res, 39*: 453-457.
- Smargiassi, A., Baldwin, M., Pilger, C., Dugandzic, R., & Brauer, M. (2005). Small-scale spatial variability of particle concentrations and traffic levels in Montreal: a pilot study. *Sci Total Environ, 338*: 243-251.
- Smargiassi, A., Berrada, K., Fortier, I., & Kosatsky, T. (2006). Traffic intensity, dwelling value, and hospital admissions for respiratory disease among the elderly in Montreal (Canada): a case-control analysis. *J Epidemiol Community Health 60(6)*: 507-512.
- Smith, D. T., Appleyard, D. & al. (1980). State of the Art: Residential Traffic Management. U.S. department of transportation, FHWA.
- Société d'assurance-automobile du Québec (SAAQ) (2004). *Dossiers statistiques - accidents, parc automobile, permis de conduire : bilan 2003*. Québec.
- Société d'assurance-automobile du Québec (SAAQ) (2006a). *Données et statistiques 2005*. Québec.
- Société d'assurance-automobile du Québec (SAAQ) (2006b). *Dossiers statistiques - accidents, parc automobile, permis de conduire : bilan 2005*. Québec.
- Société d'assurance-automobile du Québec (SAAQ) (2009). *Dossiers statistiques - accidents, parc automobile, permis de conduire : bilan 2008*. Québec.
- Sonkin, B., Edwards, P., Roberts, I., & Green, J. (2006). Walking, cycling and transport safety: an analysis of child road deaths. *J R Soc Med, 99*: 402-405.

- Southworth, M. & Ben, E. (2003). *Streets and the Shaping of Towns and Cities*. Washington, Covelo, London: Island Press.
- Statistics Canada (2002). *Population Census Minister of Industry*. Canada: Government of Canada.
- Stead, D. & Marshall, S. (2001). The Relationship between Urban Form and Travel Patterns. An international Review and Evaluation. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1(2): 113-141.
- Steinbach, R., Green, J., Edwards, P., & Grundy, C. (2010). 'Race' or place? Explaining ethnic variations in childhood pedestrian injury rates in London. *Health Place*, 16: 34-42.
- Stevenson, M. R., Jamrozik, K. D., & Spittle, J. (1995). A case-control study of traffic risk factors and child pedestrian injury. *Int J Epidemiol*, 24: 957-964.
- Susser, M. & Susser, E. (1996). Choosing a future for epidemiology: I. Eras and paradigms. *Am J Public Health*, 86: 668-673.
- Table québécoise sur la sécurité routière (TQSR). (2007). Pour améliorer le bilan routier, Québec, juin 2007. 50 p.
- 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. *Am J Public Health*, 94: 646-650.
- Thérien, F., Morency, P., King, N. et Drouin, L (2006). *Avis de la Direction de santé publique sur la Charte du piéton. Présenté à la Commission du Conseil municipal de Montréal sur la mise en valeur du territoire, l'aménagement urbain et le transport collectif*. Montréal : Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.
- Thomson, H., Jepson, R., Hurley, F., & Douglas, M. (2008). Assessing the unintended health impacts of road transport policies and interventions: translating research evidence for use in policy and practice. *BMC Public Health*, 8: 339.
- Thouez, J. P., Gangbè, M., Bergeron, J., Bussiere, Y., Rannou, A., & Bourbeau R. (2005). *Measurement of pedestrian exposure to the potential dangers of daily activity-travel patterns in the region of Montreal / Urban Transport XI*. Edited by C.A. BREBBIA: Wessex Institute of Technology, UK & L. WADHWA, James Cook University, Australia.
- Victora, C. G., Huttly, S. R., Fuchs, S. C., & Olinto, M. T. (1997). The role of conceptual frameworks in epidemiological analysis: a hierarchical approach. *Int J Epidemiol*, 26: 224-227.

- Ville de Montréal (2004). *Réseau routier numérique (Géobase)*. Montréal : Division Géomatique.
- Ville de Montréal. (2007). *Plan de transport; Réinventer Montréal*. Montréal.
- Vuchic, V. R. (1999). *Transportation for livable cities*. New Jersey: Center for urban policy research, University of New Jersey.
- 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. *Accid Anal Prev*, 41: 137-145.
- Winston, F. K., Rineer, C., Menon, R., & Baker, S. P. (1999). The carnage wrought by major economic change: ecological study of traffic related mortality and the reunification of Germany. *BMJ*, 318: 1647-1650.
- Woodcock, J., Banister, D., Edwards, P., Prentice, A. M., & Roberts, I. (2007). Energy and transport. *Lancet*, 370: 1078-1088.
- Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B. G., Ashiru, O., Banister, D. et al. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet*, 374: 1930-1943.
- Yates, D. (1998). Improving post-impact care--a form of injury prevention. *Inj Prev*, 4: S42-S45.
- Yiannakoulias, N., Smoyer-Tomic, K. E., Hodgson, J., Spady, D. W., Rowe, B. H., & Voaklander, D. C. (2002). The spatial and temporal dimensions of child pedestrian injury in Edmonton. *Can J Public Health*, 93: 447-451.
- World Health Organization. (2009). *Global status report on road safety: time for action*. 301 p.
- Zein, S. R., Geddes, E., Hemsing, S., & Johnson, M. (1997). Safety Benefits of Traffic Calming. *Transportation Research Record*, 1578: 3-10.





# ANNEXES

## Annexe 1 - Rapport d'intervention pré-hospitalière (RIP)



Gouvernement du Québec  
Ministère de la Santé  
et des Services sociaux

**RAPPORT D'INTERVENTION  
PRÉHOSPITALIÈRE  
DU TECHNICIEN AMBULANCIER**

**6132548**

**1- PRISE EN CHARGE**  
DATE: Année / Mois / Jour  
N° D'AUTOR.:  
CODE CLINIQUE:  
AFFECTATION:  URGENTE  NON URG.  
 911  INTER  SOUTIEN TECHN.

**2- CIE: URGENCES-SANTÉ**  
N° VÉHICULE:  
QUART DE TRAVAIL:  
**4- HEURE D'ARRIVÉE**  
AUPRÈS DU PATIENT :

**3- DESTINATION:**  
N° DOSSIER DU C.H.:  
**5- IDENTIFICATION DE L'USAGER**  
NOM:  
PRÉNOM:  
SEXE:  M  F  
DATE DE NAISSANCE: Année / Mois / Jour  
AS 811:  
N.A.M.:  
PERSONNE À CONTACTER:  
TÉLÉPHONE:  
**9- MÉDICAMENTS:**  NON  OUI  APPORTÉS

**6- NATURE DU CAS**

<input type="checkbox"/> 1. AGRESS. SEXUELLE	<input type="checkbox"/> 15. HYPOTHERMIE
<input type="checkbox"/> 2. ALLERGIE	<input type="checkbox"/> 16. INTOXICATION
<input type="checkbox"/> 3. A.C.R.	<input type="checkbox"/> 17. MAUX DE DOS
<input type="checkbox"/> 4. CONSC. ALTÉRÉE	<input type="checkbox"/> 18. MAUX DE TÊTE
<input type="checkbox"/> 5. CONVULSION	<input type="checkbox"/> 19. NOYADE / QUASH-NOY.
<input type="checkbox"/> 6. DIABÈTE	<input type="checkbox"/> 20. OBSTR. VOIES RESP.
<input type="checkbox"/> 7. DOUL. ABDOM.	<input type="checkbox"/> 21. PROB. COMPORT.
<input type="checkbox"/> 8. DOUL. THORAX	<input type="checkbox"/> 22. PROB. NEURO.
<input type="checkbox"/> 9. ÉLECTROCUTION	<input type="checkbox"/> 23. PROB. RESP.
<input type="checkbox"/> 10. FAIBLESSE	<input type="checkbox"/> 24. PROB. SOCIAL
<input type="checkbox"/> 11. GASTRO-INTEST.	<input type="checkbox"/> 25. PROD. DANGEREUX
<input type="checkbox"/> 12. GROSS. / ACC.	<input type="checkbox"/> 26. TRAUMA MAJEUR
<input type="checkbox"/> 13. GYNÉCO.	<input type="checkbox"/> 27. TRAUMA MINEUR
<input type="checkbox"/> 14. HYPERTHERMIE	<input type="checkbox"/> 28. AUTRE

**7- ANTÉCÉDENTS MÉDICAUX :**  ?  
 AUCUN

<input type="checkbox"/> 1. A.V.C.	<input type="checkbox"/> 6. HAND. MENTAL
<input type="checkbox"/> 2. CARDIAQUE	<input type="checkbox"/> 7. HYPERTENSION
<input type="checkbox"/> 3. DIABÈTE	<input type="checkbox"/> 8. NÉOPLASIE
<input type="checkbox"/> 4. ÉPILEPSIE	<input type="checkbox"/> 9. PSYCHIATRIE
<input type="checkbox"/> 5. HAND. PHYSIQUE	<input type="checkbox"/> 10. TROUBLES RESP.
<input type="checkbox"/> AUTRE:	

**8-**  MAL. CONT. ACTIVE:  
 ALLERGIE:

**10- AUTRES RENSEIGNEMENTS PERTINENTS:**

PROTOCOLES UTILISÉS

**11- MÉCANISME DU TRAUMATISME**

<input type="checkbox"/> 1. AUTO → CEINTURE	<input type="checkbox"/> BALLON DÉPLOYÉ
<input type="checkbox"/> 2. MOTO <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> ?
<input type="checkbox"/> 3. PIÉTON	
<input type="checkbox"/> 4. CYCLISTE	
<input type="checkbox"/> 5. CHUTE — MÈTRES	IMPACT À HAUTE VÉLOCITÉ: <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> ?
<input type="checkbox"/> 6. ARME BLANCHE	INCARCÉRÉ: <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> ?
<input type="checkbox"/> 7. ARME À FEU	DURÉE: _____ MIN.
<input type="checkbox"/> 8. BAGARRE	
<input type="checkbox"/> 9. AUTRE:	

**12- ÉVALUATION OBJ. DU TRAUMATISÉ**

<input type="checkbox"/> SANS PARTICULARITÉ	Face	Crâne	Cou	Dos	Bassin	Abd.	Extr.
1. BRÛLURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. DOULEUR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. DÉFORMATION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. SAIGN. / HÉMORR.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. LACÉRATION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. PLAIE PÉNÉTRANTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. PERTE MOTRICITÉ/SENSATION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. AMPUTATION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

GLASGOW: /15    INDICE PRÉHOSPITALIER: /24

13- HEURE	RESP.	POULS	T.A.	ÉTAT DE CONSC.	14- AUTRES OBS.:
:	/MIN.	/MIN.	/MIN.	A <input type="checkbox"/> ALERTE V <input type="checkbox"/> STI. VERBAL P <input type="checkbox"/> STI. DOULEUR U <input type="checkbox"/> Ø RÉACTION	OUI NON ORIENTÉ X 3 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NAUSÉE/VOM. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CYANOSE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TIRAGE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> DIAPHORÈSE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PARALYSIE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PUPILLES: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ÉGALES <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> RÉACTIVES À LA LUMIÈRE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
:	/MIN.	/MIN.	/MIN.	A <input type="checkbox"/> ALERTE V <input type="checkbox"/> STI. VERBAL P <input type="checkbox"/> STI. DOULEUR U <input type="checkbox"/> Ø RÉACTION	<input type="checkbox"/>
:	/MIN.	/MIN.	/MIN.	A <input type="checkbox"/> ALERTE V <input type="checkbox"/> STI. VERBAL P <input type="checkbox"/> STI. DOULEUR U <input type="checkbox"/> Ø RÉACTION	<input type="checkbox"/>

**15- SUPPORT MD**  
 RADIO  SUR LES LIEUX:

**16- INTERVENTIONS**  AUCUNE INTERVENTION

TÉMOIN DE L'EFFONDREMENT (VU/ENTENDU)  Oui  Non  ?

R.C.R. TÉMOIN  
 R.C.R. 1ER RÉPONDANT  
 M.D.S.A. 1ER RÉPONDANT

**CARDIAQUES**  
 R.C.R. AMBULANCIER, HRE: \_\_\_\_\_  
M.D.S.A.:  MONITORAGE  
 A.C.R.  
# CASSETTE \_\_\_\_\_  
CHOC(S) NB \_\_\_\_\_  
 CARDIOPOMPE

**VOIES AÉRIENNES**  
 VOIES AÉRIENNES LIBÉRÉES  
 APPAREIL À SUCCION  
 MASQUE DE POCHE  
 CANULE  
 INTUBATION VPO  NÉG.  POS.  
VENTILATION  BLEU  BLANC  
 BALLON VENTILATOIRE  
 O<sub>2</sub> \_\_\_\_\_ % \_\_\_\_\_ L/MIN.  
 VENTURI  HTE CONC.  LUNETTE

**HÉMORRAGIES**  
 PANSEMENTS  
 CONTRÔLE PAR PRESSION  DIR.  IND.  
 GARROT, HRE: \_\_\_\_\_

**IMMOBILISATIONS**  PÉD.  
 COLLET CERVICAL → TAILLE  
 N.N.  
 P  
 M  
 G  
 T.G.

PLANCHE LONGUE  
 PLANCHE COURTE  
 K.E.D.  
 SCOOP  
 MATELAS IMMOBILISATEUR  
 ATTELLE DE FIXATION  
 CONTENTIONS

**AUTRES**  
 MÉDICAMENTS DONNÉS PAR T.A.  
 ACCOUCHEMENT, HRE: \_\_\_\_\_  
 AUTRES

**17- TRANSPORT**  
 ANNULÉ  REFUSÉ  
À L'AMBULANCE  
 CIVIÈRE  
 CIVIÈRE-CHAISE  
 PATIENT MARCHÉ  
DANS L'AMBULANCE (POSITION)  
 ASSISE  
 SEMI-ASSISE  
 DÉCUBITUS DORSAL  
 LATÉRALE DE SÉCURITÉ  
 DE CHOC  
CONDUITE  
 URGENTE  
 NON URGENTE

**18- TECHNICIEN AMBULANCIER # 1**

**TECHNICIEN AMBULANCIER # 2**

# MATRICULE \_\_\_\_\_ SIGNATURE \_\_\_\_\_

# MATRICULE \_\_\_\_\_ SIGNATURE \_\_\_\_\_

1- URGENCES-SANTÉ

AS-803M-4 (97-05)

## **Annexe 2 – Collecte de données et sélection des blessés**

Cette annexe est constituée d'un extrait d'un extrait du rapport de recherche :

Morency P. et Cloutier MS. 2005. *Distribution géographique des blessés de la route sur l'île de Montréal (1999-2003) : Cartographie pour les 27 arrondissements.*

Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. 158 p.

Le rapport complet est disponible sur le site internet de la Direction de santé publique ([www.santepub-mtl.qc.ca](http://www.santepub-mtl.qc.ca), sous l'onglet publications ; consulté le 30 mars 2010). Cet extrait a été annexé à la thèse avec l'accord de la Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal.

### ***1.1 Population étudiée***

La population étudiée est l'ensemble des blessés de la route pour lesquels une intervention ambulancière a été effectuée sur l'île de Montréal entre le 1er janvier 1999 et le 31 décembre 2003.

### ***1.2 Source des données***

Deux sources d'informations complémentaires d'Urgences-santé ont été utilisées : le registre des rapports d'intervention préhospitalière (RIP) complété par les ambulanciers (données démographiques, nature du cas, gravité, etc.; voir annexe 4) et le système de gestion des appels reçus (code de triage, localisation du lieu d'intervention). La catégorie

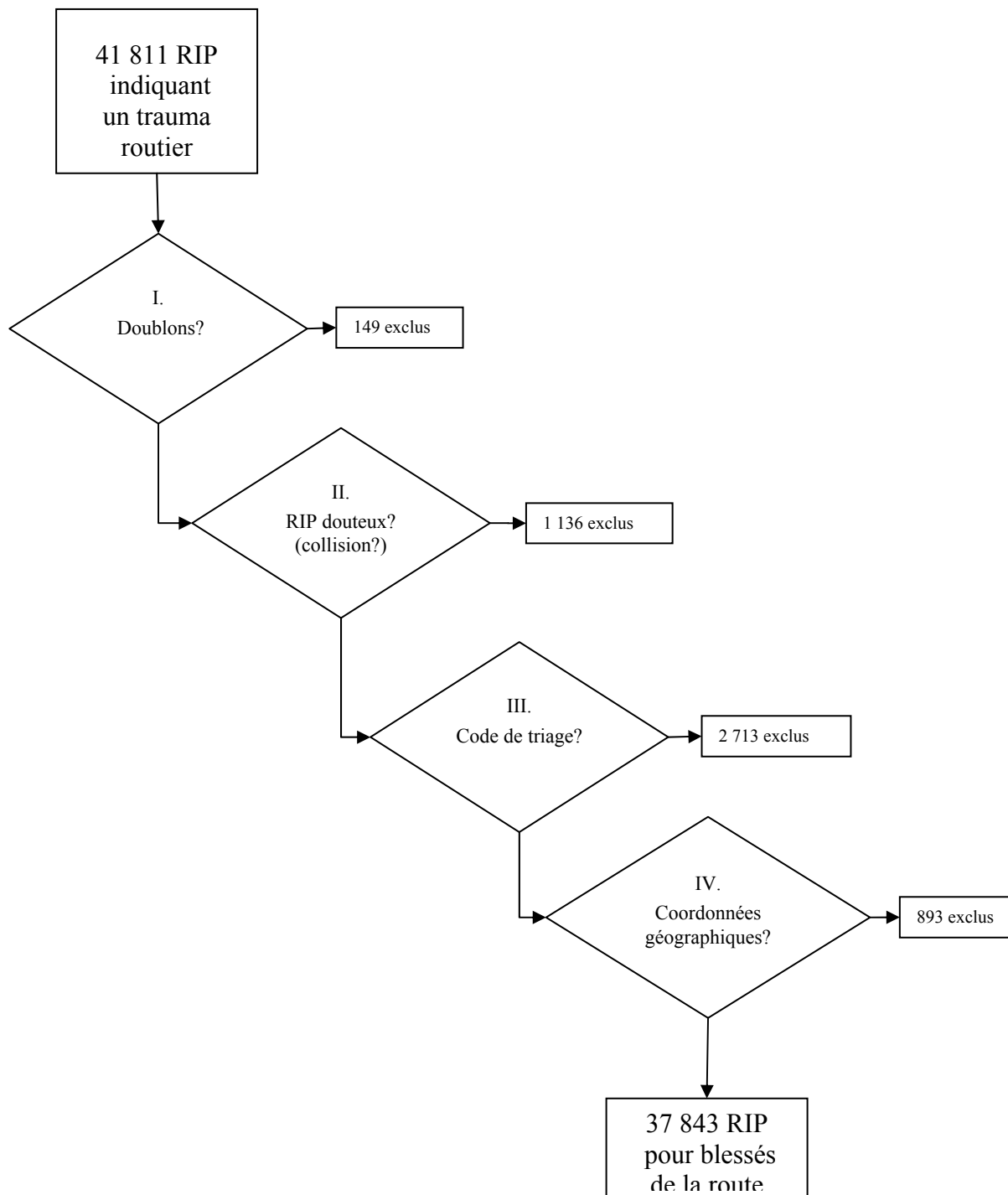
d'usager de la route (occupant de véhicule à moteur, motocycliste, cycliste, piéton) a été identifiée par le mécanisme du traumatisme inscrit sur les RIP.

### **1.3 Sélection des cas**

La sélection des cas a été faite à partir du registre des rapports d'intervention préhospitalière (RIP). Seuls les blessés pour lesquels le mécanisme du traumatisme indiquait un accident de la route ont été retenus (« 1. Auto » ou « 2. Moto » ou « 3. Piéton » ou « 4. Cycliste »). Cette procédure a permis d'identifier 41 811 RIP résultant de 38 341 interventions ambulancières.

### **1.4 Procédures d'exclusion**

Les différentes étapes de validation (Figure 1) ont entraîné l'exclusion de 3 968 RIP, plusieurs centaines d'entre eux étant exclus pour plus d'une raison (Figure 1).

**Figure 1 : Procédures d'exclusion**

**Étape I. Identification des RIP multiples pour un même blessé**

Environ 1 % (443) des 41 811 RIP pouvaient représenter des doublons, c'est-à-dire un second RIP pour un même blessé. Ces 443 RIP ont été identifiés par le numéro d'événement et la date de naissance (codée). Après vérification, ils portaient sur 294 blessés différents (149 RIP exclus).

**Étape II. Exclusion des RIP douteux ou ne portant pas sur un blessé de la route**

Précision de la catégorie d'utilisateur de la route (« mécanisme du traumatisme »)

Pour environ 2 % (954) des 41 811 RIP, le mécanisme du traumatisme indiquait plus d'une catégorie d'utilisateur de la route. Les formulaires originaux ont été revus : la majorité des blessés identifiés à la fois comme piéton et comme automobiliste étaient des piétons ( $407/457=89\%$ ); la majorité des blessés identifiés à la fois comme cycliste et comme automobiliste étaient des cyclistes ( $114/149=77\%$ ); environ la moitié des autres RIP ont été exclus parce qu'il ne s'agissait pas de blessés de la route, ce qui fut particulièrement le cas des RIP identifiant trois ou quatre catégories d'utilisateurs de la route.

### *Exclusion des chutes de piétons*

Une chute peut être indiquée par le code de triage des appels (17-Chute) ou par le mécanisme du trauma (RIP). Seuls les RIP sur lesquels l'utilisateur de la route est précisé ont été considérés pour l'étude, ce qui avait d'emblée exclu plus de 43 000 RIP portant sur une personne blessée à la suite d'une chute entre 1999 et 2003. Tous les cas retenus pour lesquels le RIP ou le code de triage indiquait une chute – en plus de la catégorie d'utilisateur de la route – ont été revus. Après révision, presque tous les piétons pour lesquels une chute était aussi inscrite ont été exclus ( $688/766 = 90 \%$ ), parce que la blessure n'impliquait pas une collision routière. Pour les cyclistes, seul un échantillon aléatoire des cas a été révisé : même lorsqu'une chute était inscrite, une majorité des cas ( $269/319=84 \%$ ) impliquait néanmoins une collision avec un véhicule à moteur. Les autres RIP de cyclistes n'ont donc pas été exclus lorsqu'une chute avait été inscrite par l'ambulancier.

### *Révision des cas où une collision routière est douteuse*

Pour quelques centaines de RIP, la collision était douteuse même si le mécanisme du traumatisme indiquait un usager de la route. Le traumatisme routier n'était confirmé ni par le code de triage (Clawson = 29, Accident de la route), ni par la nature du cas (trauma mineur ou majeur), ni par l'évaluation objective du traumatisé ( $IPT > 0$ ), ni par l'indication de haute vitesse lors de l'impact. Environ 40 % de ces cas ont été exclus parce qu'ils ne résultaient pas d'une collision routière ( $188/460 = 41 \%$ ).

**Étape III. Codes de triage non compatibles avec une collision routière**

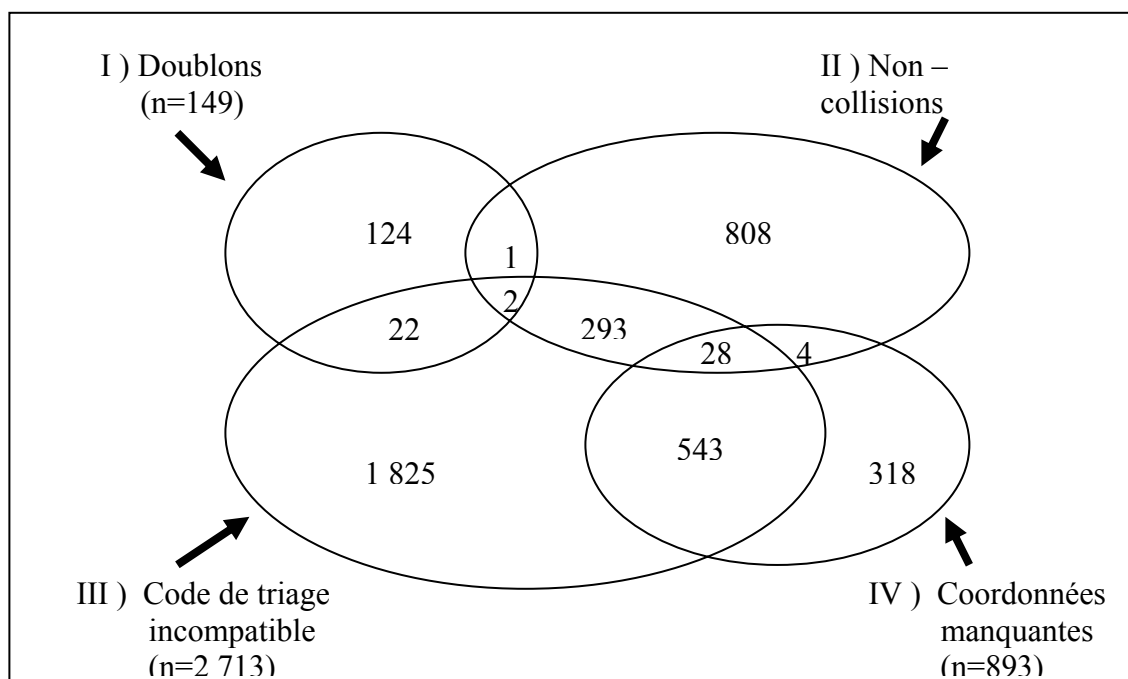
Plus de 3 000 RIP ont été revus. Il a été constaté que la probabilité d'une collision était assez faible lorsque le code de triage n'était pas compatible avec une collision routière (ex. : Clawson = 6, problèmes respiratoires; Clawson = 10, douleur thoracique). Il a donc été décidé d'exclure tous les cas dont le code de triage Clawson n'était pas une chute (validés à l'étape II), un accident de la route, une blessure traumatique, un « appel en cours de traitement » ou une « intervention imprévue » (R08). Ce choix a entraîné l'exclusion de plus de 2 000 RIP, principalement parce que le code de triage était manquant ou correspondait à une « personne malade », à un « problème inconnu - personne gisante », à « inconscience / évanouissement », à un « problème respiratoire », etc. Cette procédure a sans doute exclu quelques centaines de blessés de la route, mais ce choix facilitera la réplication de l'étude.

**Étape IV. Absence de coordonnées géographiques (X,Y)**

Il n'a pas été possible d'associer une coordonnée géographique à 718 RIP, auxquels il faut ajouter 175 RIP situés en dehors des limites géographiques des arrondissements montréalais (Urgences-santé dessert aussi Laval).



**Figure 2 : Répartition des 3 968 rapports d'intervention ambulancière (RIP) exclus selon la cause de l'exclusion**



### 1.5 Nombre d'interventions ambulancières et de blessés retenus

Un total de 34 730 interventions ambulancières d'Urgences-santé portant sur 37 843 blessés de la route ont été retenues. Les interventions d'Urgences-santé pour les piétons, les cyclistes et les motocyclistes n'impliquent presque toujours qu'un seul blessé (Tableau 1). Pour les occupants de véhicules à moteur, un dixième (10 %) des interventions impliquent plus d'un blessé.

**Tableau 1 : Nombre d'interventions d'Urgences-santé selon le nombre de blessés par collision**

	Nombre d'interventions						
	1 blessé		2 blessés		3 blessés et +		Total
Piétons	4982	99%	50	1%	0	0%	5032
Cyclistes	4700	99%	24	1%	1	0%	4725
Occupants de véhicule à moteur	21488	90%	1991	8%	439	2%	23918
Motocyclistes	1030	98%	25	2%	0	0%	1055

## 1.6 Cartographie

### Provenance des coordonnées géographiques

Pour faciliter le trajet de l'ambulance et réduire le temps d'attente des patients, Urgences-Santé assigne une coordonnée géographique en longitude, latitude (x,y) à chaque enregistrement de la base de données des appels. Les répartiteurs font alors le choix de l'ambulance répondant à l'appel et les ambulanciers ont accès à un calcul de trajet optimal. Le processus d'assignation des coordonnées x,y commence dès la réception d'un appel de détresse (911). Automatiquement, le répondant médical d'urgence (RMU) reçoit sur son écran l'adresse correspondant au lieu de l'appel. Trois alternatives sont alors possibles :

1. L'adresse est positivement validée par le RMU avec son interlocuteur et un géocodage est instantanément fait à partir de la géobase (réseau routier) de la Ville de Montréal. Un point x,y est alors créé (95 % des cas);
2. L'interlocuteur appelle d'un cellulaire et aucune adresse n'est parvenue au RMU. Celui-ci lui demande alors l'adresse ou le coin de rue à proximité et met à jour son écran. Le géocodage instantané se fait seulement après cette étape (2 à 3 % des cas, en hausse par contre).

Pour les cas où le lieu de l'accident correspond à une intersection inexistante en raison d'un viaduc, ou encore à un endroit sur l'autoroute, Urgences-santé a prévu une base de données géographiques incluant des points x,y prédéfinis. Le RMU demande alors à l'interlocuteur d'identifier la sortie la plus proche (dans le cas d'une l'autoroute) ou encore la rue transversale (dans le cas d'un viaduc). Le point x,y est alors instantanément trouvé et enregistré avec l'appel (proportion minimale des cas).

### **Identification des blessés aux intersections**

La Géobase de la Ville de Montréal, un réseau numérique très détaillé des rues de Montréal, a permis la création de zones tampons d'un rayon de 15 mètres autour des intersections. Une seule zone tampon a été conservée pour chaque intersection, même pour les rues à double voies. Les interventions ambulancières situées à l'intérieur de ces zones ont été attribuées aux intersections. La proportion de blessés ainsi attribués aux intersections (58 %) correspond approximativement à la proportion de blessés aux intersections rapportée par la Ville de Montréal (55 %), basée sur les rapports policiers d'accidents<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Ville de Montréal, service de l'environnement, de la voirie et des réseaux (2003). « Données relatives aux accidents en 2002 et 2001 ». Rapport non publié.

### **Annexe 3 - Effet d'une réduction globale des volumes de trafic**

Les gains potentiels d'une réduction des volumes de trafic sur le nombre de piétons blessés dans les quartiers les plus pauvres sont estimés dans l'article 3. Cependant, cet article présente seulement la réduction relative (%) du nombre de piétons blessés aux intersections. Cette annexe vise à illustrer l'effet d'une réduction globale des volumes de trafic de 25 % sur le nombre de piétons blessés aux intersections, en nombre absolu. Ces gains, le nombre de piétons « sauvés » aux intersections, sont présentés selon le type d'intersection et le volume initial de trafic à l'intersection.

Selon le modèle multivarié détaillé à l'article 3, chaque réduction de 1 000 véhicules par jour à une intersection engendre une réduction de 5,3 %<sup>10</sup> du nombre de blessés, sans égard à la présence d'artère(s) ou d'une quatrième branche. En nombre absolu de piétons « sauvés », les gains seront toutefois plus élevés aux intersections avec artère(s) et/ou quatre branches puisque, à trafic égal, le nombre de piéton blessé y est plus élevé. La figure 1 illustre la réduction du nombre estimé de piétons blessés associée à une réduction de 25 % du volume de trafic aux intersections des quartiers les plus pauvres, selon le type d'intersection et le volume initial de trafic à l'intersection. La réduction estimée du nombre de piétons blessés, en nombre absolu, est plus élevée aux intersections avec artère(s) et/ou quatre branches.

De plus, une réduction uniforme des volumes de trafic, par exemple de 25 %, se traduirait par des réductions plus élevées des volumes de trafic, en nombre absolu, aux intersections à fort débit. Par exemple, une telle réduction de 25 % du trafic serait associée

---

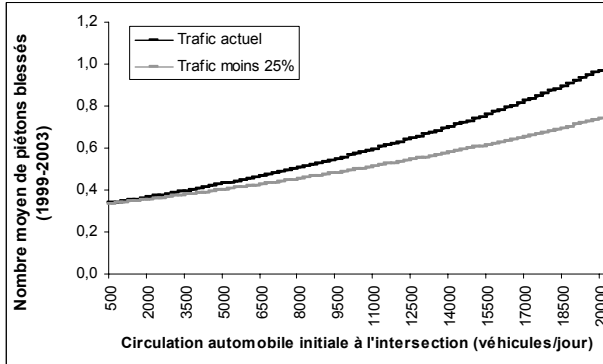
<sup>10</sup> La méthode pour estimer la fraction attribuable est décrite dans l'article 3.

à une réduction de 250 véhicules par jour aux intersections comptant initialement 1 000 véh./jour mais à une réduction de 5 000 véhicules par jour aux intersections comptant initialement 20 000 véh./jour. Par conséquent, le nombre de piétons « sauvés », en nombre absolu, augmenterait avec le volume de trafic initial à l'intersection. La figure 1 illustre les réductions plus importantes du nombre estimé de piétons blessés aux intersections à fort débit.

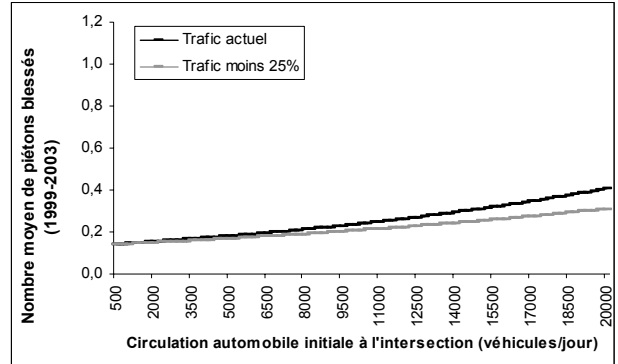
L'imputation sur le réseau routier d'un accroissement ou d'une réduction de trafic est une problématique de recherche complexe dépassant le cadre de cette thèse. Cette annexe vise seulement à illustrer que l'ampleur des gains éventuels, en nombre absolu de piétons « sauvés », dépendra des lieux où s'effectueront les réductions de trafic. De la même manière, on pourrait estimer que l'évolution du nombre de piétons blessés associée à une augmentation des volumes de marche dépendra des lieux où se déplaceront ces piétons supplémentaires. Par exemple, le nombre supplémentaire de piétons blessés serait moins élevé si les « nouveaux » piétons marchent sur des rues locales, croisent principalement des intersections à trois branches, dans des secteurs plus riches. Au contraire, le nombre supplémentaire de piétons blessés serait plus élevé si les « nouveaux » piétons marchent sur des artères, croisent principalement des intersections à quatre branches, dans des secteurs plus pauvres.

**Figure 1: Impact d'une réduction de 25 % du volume de trafic aux intersections des quartiers les plus pauvres sur le nombre moyen de piétons blessés, en fonction du type d'intersection et du volume initial de trafic à l'intersection.**

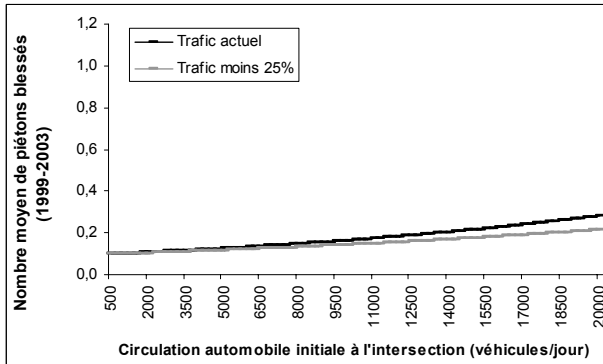
a) Intersections avec artère(s), 4 branches



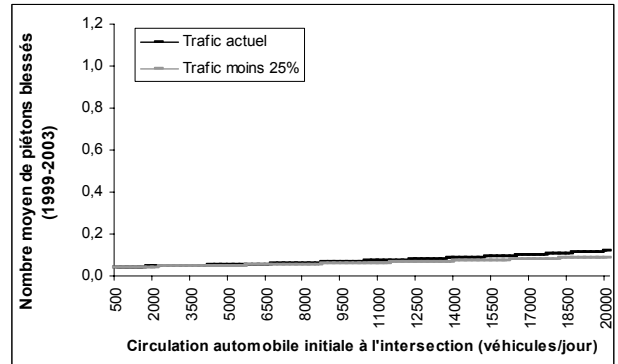
c) Intersections de rues mineures<sup>11</sup>, 4 branches



b) Intersections avec artère(s), 3 branches



d) Intersections de rues mineures, 3 branches



<sup>11</sup> Les intersections de rues mineures sont constituées de rues locales et/ou de collectrices.

**Annexe 4 – Curriculum vitae****CURRICULUM VITAE****Patrick Morency, md, MSc, FRCPC****EMPLOIS**

- 2003 - Direction de la santé publique de Montréal-centre. Unité Écologie humaine et sociale. Médecin-conseil en prévention des traumatismes.
- 2004 - 2006 Université de Sherbrooke. Faculté de médecine. Conception de TXM-716 « Santé publique et toxicomanie »; chargé de cours.
- 2002 - 2003 Direction de la santé publique de la Montérégie. Médecin-conseil en évaluation.
- 2000 - 2001 Institut universitaire de médecine sociale et préventive (IUMSP) de Lausanne, Suisse. Unité d'évaluation des programmes de prévention.

**ÉTUDES UNIVERSITAIRES**

- (en cours) Ph. D. en santé publique – option épidémiologie  
Université de Montréal
- 1994-1999: Études spécialisées en santé communautaire.  
Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec)
- 1995-1997: Maîtrise en sciences cliniques, option santé communautaire.  
Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec)
- 1990-1994: Doctorat en Médecine,  
Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec)

**LICENCES ET EXAMENS POUR L'EXERCICE DE LA MÉDECINE**

- Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada: examen de spécialité en médecine communautaire (1999).
- Collège des médecins du Québec: examen du certificat de spécialiste en santé communautaire (1999).
- Conseil Médical Canadien (Examens I et II; 1994-1995)

**PUBLICATIONS DANS DES REVUES AVEC POLITIQUE ÉDITORIALE**

Morency P, Cloutier MS. From targeted "black spots" to area-wide pedestrian safety. *Injury Prevention*. 2006 Dec;12(6):360-4.

Benninghoff F, Morency P, Geense R, Huissoud T, Dubois-Arber F. Health trends among drug users attending needle exchange programmes in Switzerland (1994-2000). *Aids Care*, May 2006;18(4):371-375.

Graz B, Falquet J, Morency P. Rapid assessment of alternative medicine through a comparison of the expected and observed progress of patients: A feasibility study of the prognosis / follow-up. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*. 2003 Oct;9(5):755-61.

Labbé AC, Mendonça AP, Alves AC, Jaffar S, Dias F, Alvarenga I, Frost E, Morency P, Milord F, Pépin J. The Impact of Syphilis, HIV-1 and HIV-2 on the Outcome of Pregnancy in Bissau, Guinea-Bissau. *Sexually Transmitted Diseases*. 2002 Mar; 29(3): 157-67.

Pépin J, Demers AM, Mberyo-Yaah F, Jaffar S, Blais C, Somsé P, Bobossi G, Morency P. Acute lower respiratory infections among children hospitalized in Bangui, Central African Republic: toward a new case management algorithm. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2001 Jul-Aug, 95 (4): 410-17.

Morency P, Dubois M.J., Grésenguet G, Frost E, Mâsse B, Deslandes S, Somsé P, Samory A, Mberyo-Yaah F, Pépin J. Aetiology of urethral discharge in Bangui, Central African Republic. *Sexually Transmitted Infections*. 2001 Apr; 77(2): 125-129.

Somse P, Mberyo-Yaah F, Morency P, Dubois MJ, Gresenguet G, Pepin J. Quality of sexually transmitted disease treatments in the formal and informal sectors of Bangui, Central African Republic. *Sexually Transmitted Diseases*. 2000 Sep; 27(8):458-64.

Demers AM, Morency P, Mberyo-Yaah F, Jaffar S, Blais C, Somse P, Bobossi G, Pepin J. Risk factors for mortality among children hospitalized because of acute respiratory infections in Bangui, Central African Republic. *Pediatric Infectious Disease Journal*. 2000 May; 19(5):424-32.

**ACTES DE COLLOQUES AVEC ARBITRAGE (Proceedings)**

Miranda-Moreno LF, Morency P, El-Geneidy AM. 2010. How does the built environment influence pedestrian activity and pedestrian collisions at intersections? Transportation Research Board 89th Annual Meeting Compendium of Papers, 2010.

Morency, P., M.S. Cloutier, M. Jolicoeur, C. Morency, S. Goudreau. 2007. Distribution géographique des cyclistes blessés en milieu urbain. Proceedings of the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XVII.

**PUBLICATIONS DANS DES JOURNAUX D'AUDIENCE RÉGIONALE**

Morency P. Traumas et inégalités sociales : Un système de transport et des aménagements plus sécuritaires pour les piétons et les cyclistes. *Le Spécialiste, le magazine de la Fédération des médecins spécialistes du Québec*, décembre 2009; 11 (4) :34-35.

Morency P. Blessés de la route, des inégalités qui s'expliquent... *Développement social*, novembre 2009; 10(2) : 31.

Morency P., Miaux, S. La circulation automobile et la sécurité des piétons et des cyclistes en milieu urbain. *Revue Routes & Transports*, printemps 2008, 37 (1) : 16-19.



Drouin L, Morency P, King N, Thérien F, Gosselin C, Lapierre L. Impacts sanitaires de la circulation automobile. Routes et transports. *Revue Routes & Transports*, automne 2006 : p.18-19.

Barbeau D, Perron S, Ouellet V, Morency P. Un regard critique sur les services de consultation sans rendez-vous. *Le Médecin du Québec*, 2001; 36 (1): 71-75.

Huissoud T, Dubois-Arber F, Gervasoni J.-P., Morency P, Besson M. Intérêt de l'étude des dossiers de patients pour l'évaluation des missions d'institutions médico-sociales, à l'exemple d'un centre de traitement de personnes toxicodépendantes (Centre Saint - Martin à Lausanne). *Médecine & Hygiène*, 2000; 58: 1416-21.

## DOCUMENTS DE POSITIONNEMENT

*Griffintown : Conjuguer santé et aménagement urbain*. Présenté dans le cadre des consultations publiques sur le Projet Griffintown. Drouin L, Thérien F, King N., Morency P., Paquin S., Perron S, Direction de santé publique, Montréal, 33 p. 10 mars 2008.

*Moderniser la mobilité*. Présenté dans le cadre des consultations publiques sur le Projet de modernisation de la rue Notre-Dame: volet intégration urbaine. Drouin L, Thérien F, Morency P., Paquin S., Perron S, King N., Direction de santé publique, Montréal, 33 p. 6 février 2008.

*Pour une approche globale de la sécurité routière- Mémoire sur les projets de loi no 42 et no 55*. Présenté à la Commission des transports et de l'environnement, Assemblée nationale du Québec. Drouin L, Thérien F, Morency P., King N, Perron S, Paquin S. Direction de santé publique, Montréal, 33 p. 5 décembre 2007.

*Mémoire sur le Plan de transport de Montréal*. Présenté à la Commission de l'agglomération montréalaise sur l'environnement, le transport et les infrastructures. Lessard R, Drouin L, Thérien F, King N, Morency P., Moisan JL, Pinard M. Direction de santé publique, Montréal, 27 p. 29 août 2007.

*Mémoire sur le projet de révision du réseau artériel*. Présenté à la Commission permanente du Conseil municipal sur le transport, la gestion des infrastructures et l'environnement. Drouin L, Morency P, Thérien F, King N. Direction de santé publique, Montréal, 14 p. 12 avril 2007.

*Avis de la Direction de santé publique sur la Charte du piéton*. Présenté à la Commission du Conseil municipal de Montréal sur la mise en valeur du territoire, l'aménagement urbain et le transport collectif. Thérien F, Morency P, King N, Drouin L. Direction de santé publique, 22 août 2006

## RAPPORTS CONCERNANT DES MANDATS DE RECHERCHE OU D'ÉVALUATION

Morency P, Voyer C, Beaulne G, Goudreau S. Chutes extérieures en milieu urbain : impact du climat hivernal et variations géographiques. Agence de la santé et des services sociaux; direction de santé publique: Montréal. 2010. 16 p.

Drouin L, Morency P, King P, Thérien F, Lapierre L, Gosselin C. 2006. Le transport urbain, une question de santé. Agence de la santé et des services sociaux; direction de santé publique: Montréal. 2006. 132 p.

Morency P, Cloutier MS. Distribution géographique des blessés de la route sur l'île de Montréal; cartographie pour les 27 arrondissements. Direction de santé publique de Montréal, 2005. 158 p.

Kellerhals C, Thomas R, Morency P, Zobel F, Dubois-Arber F. Les mesures de santé publique de la confédération en matière de drogues illégales: monitoring 1999-2000. Lausanne: Institut universitaire de médecine sociale et préventive de Lausanne, 2002 (Raison de santé # 77). 86 p.

Kellerhals C, Morency P, Zobel F, Dubois-Arber F. Drogues illégales et santé publique: stratégie de la confédération. Lausanne: Institut universitaire de médecine sociale et préventive de Lausanne, 2002 (Raison de santé # 76).

Giovanna Meystre-Augustoni, Françoise Dubois-Arber, Patrick Morency, Pierre Cochand, Amalio Telenti. Les thérapies antirétrovirales hautement actives (HAART) du point de vue du patient. Lausanne: Institut de Médecine sociale et préventive de Lausanne, 2001 (Raison de santé # 72). 99 p.

Michel Rousseau, Michel Perreault, Céline Mercier, Patrick Morency. Rapport descriptif basé sur la première année d'opération de Relais Méthadone, 1er novembre 1999 au 31 octobre 2000. Centre de recherche de l'hôpital Douglas. 30 juillet 2001. 95 p.

Patrick Morency avec la collaboration de Christophe Kellerhals. Analyse sommaire des autorisations délivrées par l'Office Fédéral de la Santé Publique pour un traitement avec prescription d'héroïne (1994-2000). Lausanne: Institut universitaire de médecine sociale et préventive de Lausanne. Avril 2001, 11 p. Rapport aux mandants.

Huissoud T, Morency P, Benninghoff F, Samitca S, Geense R, Dupertuis-dit-Neveu V, Gervasoni J.-P., Dubois-Arber F. Epidémiologie de la toxicomanie dans le canton de Vaud et évaluation des nouveaux projets financés par le canton de Vaud: deuxième phase d'évaluation 1998-2000. Lausanne: Institut de Médecine sociale et préventive de Lausanne, 2001 (Raison de santé # 63). 224 p.

Sanda Samitca, Rachel Geense, Thérèse Huissoud, Patrick Morency, Fabienne Benninghoff, Françoise Dubois-Arber. Evaluation de deux structures à bas seuil de la ville de Lausanne : le Passage et le Point d'eau. Lausanne: Institut de Médecine sociale et préventive de Lausanne, 2001 (Raison de santé # 62). 53 p.

## INTERVENTIONS ET EXPOSÉS SCIENTIFIQUES

Fuller, D., Gauvin, L., Kestens, Y., Morency, P., Daniel, M., & Drouin, L. *Tracking the reach of a cycling intervention : The case of a large-scale public bicycle share program*. 20th World Conference of the International Union for Health Promotion and Education, Geneva, Switzerland, July 11-15, 2010.

Zahabi SAH, Miranda-Moreno LF, Manaugh K, Morency P. *Effect of road characteristics, built environment and other factors on crash severity levels involving pedestrians and motor vehicles*. 8<sup>th</sup> International Transportation Specialty Conference, Winnipeg, Canada, June 9-12, 2010.

Morency P. *Comment réduire le nombre de jeunes piétons et cyclistes blessés*. Colloque « A pied, à vélo, des villes actives ! ». Montréal, 3 juin 2010.

Miranda-Moreno LF, El-Geneidy AM, Morency P, Haber L, Manaugh K. *Effect of adverse weather conditions, land-use and other factors on road accidents involving non-motorized users and motor vehicles*. XIIIe Congrès international de la viabilité hivernale : La viabilité hivernale au service des usagers. Québec, Canada, 8 – 11 février 2010.

Pabayo R, Gauvin L, Morency P, Barnett T, Nikiéma B, Séguin L. *Understanding the Determinants of Active Transportation to School among Children Living in Poverty: Evidence of Environmental Injustice from the Quebec Longitudinal Stud of Child Development*. Active Living Research Annual Conference, February 9-11, 2010; San Diego, CA.

Fuller, D., Gauvin, L., Kestens, Y., Morency, P., Daniel, M., & Drouin, L. *Behavioral Correlates of Awareness of a Large-scale, Self-service Bicycle Program: Potential for a Modal Shift Toward Active Transportation*. Active Living Research Annual Conference, February 9-11, 2010; San Diego, CA.

Miranda-Moreno LF, Morency P, El-Geneidy AM. *How does the built environment influence pedestrian activity and pedestrian collisions at intersections?* 89th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C., January 2010.

Morency P, Cloutier MS, Plante C. *Jeunes piétons et cyclistes : le risque posé par le volume de trafic et les artères*. 8<sup>e</sup> séminaire francophone international en promotion de la sécurité et en prévention des traumatismes. Montréal, Canada, 21 mai 2009.

Morency P, Drouin L. *Des politiques basées sur des données probantes : l'apaisement de la circulation à Montréal*. 12<sup>e</sup> Journées annuelles de santé publique (JASP). Québec, Canada, novembre 2008.

Morency P et coll. *Inégalités et problèmes de santé publique liés aux infrastructures de transport : passer du problème aux solutions*. 12<sup>e</sup> Journées annuelles de santé publique (JASP). Québec, Canada, novembre 2008.

Drouin L, King N, Pitre P, Thérien F, Paquin S, Bergeron A, Morency P, Perron S. *Promoting sustainable development in Montreal in order to diminish the health impact of climate change*. American public health association (APHA) 136<sup>th</sup> annual meeting. Oct 25-29, 2008. San Diego, California.

Morency P, Plante C, Smargiassi A, Fournier M, Morency C. *The threat of traffic volume for pedestrians and cyclists in an urban setting*. 2nd International Congress on Physical Activity and Public Health. Amsterdam, the Netherlands, April 13-16, 2008.

Morency P, Thérien F et coll. *Limites et potentiel d'efficacité des mesures proposées par la Table québécoise sur la sécurité routière*. 43e congrès l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR): L'heure des choix. Québec, 14 - 16 avril 2008.

Paquin S, Morency P. *Automobiles et impacts sur l'aménagement et la santé de la population urbaine*. 43e congrès l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR): L'heure des choix. Québec, 14 - 16 avril 2008.

Drouin L, M.D., M.P.H; King N, M.Sc.; Morency P, M.D., M.Sc. FRCP; Thérien F, M.A. *How the Montreal Public Health Department is Working Towards Diminishing the Negative Impacts of Transportation on Public Health*. 19th IUHPE World Conference on Health Promotion and Health Education: Urbanization and Health Promotion: Negotiating the Built Environment . Vancouver, Canada, June 12<sup>th</sup> 2007.

Morency P, Cloutier MS, Jolicoeur M, Morency C. *Distribution géographique des cyclistes blessés sur l'île de Montréal (1999-2003)*. XVII<sup>th</sup> Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference . Montreal, Canada, June 5<sup>th</sup> 2007.

King N, M.Sc.; Morency P, M.D., M.Sc. FRCP; Drouin L, M.D., M.P.H; Thérien F, M.A. *Urban transport and health: the approach of the Montreal Public Health Board*. American Public Health Association: Identifying and Mitigating Localized Air Pollution. Boston, November 8th 2006.

Morency P, Cloutier MS, King N, Goudreau S, Smargiassi A, Drouin L. *Géographie des blessés de la route à Montréal*. Forum de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal : Transport, aménagement urbain et santé. Montréal. 9 juin 2006.

Morency P, Cloutier MS, King N, Goudreau S, Drouin L. *La route et les enfants*. 41<sup>e</sup> congrès de l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR): La sécurité autour des écoles primaires. Sherbrooke. 23 mai 2006.

Morency P, Cloutier MS. *Insécurité routière : La géomatique au secours de la santé publique*. Colloque : Analyse spatiale et santé des populations urbaines, dans le cadre du 74<sup>e</sup> congrès de l'ACFAS. Montréal. 17 mai 2006.

Drouin L, Morency P, King N, Lacroix N. *Transport actif et santé publique : réflexion pour des actions stratégiques*. 9<sup>e</sup> Journées annuelles de santé publique (JASP). Québec. 17 novembre 2005.

MS Cloutier, P Morency. *Geographic information system (GIS) and urban road safety*. Fourth International Conference on Urban Health, October 26-28, 2005, Toronto, Ontario, Canada.

King N, Drouin L, Morency P, Lapierre L. *Transports et santé publique: un enjeu pour l'avenir*. 40e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR). Laval. 12 avril 2005.

Drouin L, King N, Morency P, Lapierre L. *Les incidences sur la santé publique et les coûts engendrés*. MUTA 2004. troisième forum international, Tremblant, 17 septembre 2004.

P. Morency, MS Cloutier. « *Insécurité routière : la géomatique au secours de la santé publique* ». 8e Journées annuelles de santé publique (JASP). Montréal, novembre 2004. (prix : mention d'honneur). (Affiche)

## AUTRES INTERVENTIONS ET EXPOSÉS

Morency P. Piétons et cyclistes blessés: comprendre les inégalités entre quartiers. Réunion recherche du secteur Environnement urbain et santé. Direction de santé publique de Montréal. 9 juin 2010.

Morency P, Thérien F. La sécurité routière dans l'arrondissement Rivière des Prairies. Comité circulation de l'arrondissement de Rivière des prairies, Montréal, juin 2010.

Morency P. La sécurité routière dans le Sud-Ouest. Famijeunes, Montréal, juin 2010.

Cloutier MS, Morency P. Études sur la sécurité des aménagements pour piétons aux intersections. Direction technique Sécurité dans les transports de l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR). Montréal, juin 2010.

Morency P. Jeunes piétons et cyclistes blessés à Montréal : Problème et solutions. Présentation dans le cadre de la Semaine nationale de la sécurité scolaire, CDEC Centre-sud / Plateau Mont-Royal. 21 octobre 2009.

Morency P. Quel est le problème dans le quartier ? Blessés, trafic et artères et solutions dans l'arrondissement Sud-Ouest. Forum citoyen sur l'apaisement de la circulation et le transport actif. Sud-Ouest, 7 octobre 2009.

Morency P. Quel est le problème dans le quartier ? Blessés, trafic et artères dans l'arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve. Forum citoyen sur l'apaisement de la circulation et le transport actif. Hochelaga-Maisonneuve, 30 septembre 2009.

Morency P. Quel est le problème dans le quartier ? Blessés, trafic et artères dans Villeroy-St-Michel-Parc Extension. Forum citoyen sur l'apaisement de la circulation et le transport actif. Villeroy, 23 septembre 2009.

Morency P. Le mal des transports, ou pourquoi certains quartiers sont plus malades que d'autres. Séries de conférences publiques – Environnement urbain et santé. Centre d'écologie urbaine de Montréal. 19 mai 2009.

Morency P. Transports et santé publique : passer du problème aux solutions. Conférences scientifiques de l'Institut national de la santé publique du Québec (INSPQ). 9 avril 2009.

Morency P, Perron S. Transports et santé publique. Présentation aux Directeurs régionaux de santé publique du Québec. Québec, 9 octobre 2008.

Morency P, Cloutier MS, Gauvin L, Drouin L, Thérien F, et coll. Un véhicule, ça frappe : Où, pourquoi et que faire? Centre de recherche Léa Roback : Recherches en action - Aménagements urbains et santé. Montréal. 5 juin 2007.

Morency P, King N, Drouin L et coll. Transport et santé : les impacts de la circulation dans l'arrondissement Côte-des-Neiges. Circulation symposium: For a safe Montreal. November 14<sup>th</sup> 2006.

Morency P, King N, Drouin L et coll. Répartition géographique des blessés et impacts de la circulation sur la santé. Déjeuners-conférences sur l'apaisement de la circulation à Montréal. Conseil régional de l'environnement de Montréal, en collaboration avec la Direction de santé publique de Montréal. 31 octobre 2006.

Morency P, Cloutier MS, King N, Goudreau S, Smargiassi A, Drouin L. Géographie des blessés de la route à Montréal. Forum de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal : Transport, aménagement urbain et santé. Montréal. 9 juin 2006.

P. Morency, MS Cloutier. Sécurité routière ; perspective de santé publique. Commission sur la sécurité publique et civile de l'arrondissement du Plateau-Mont-Royal. Montréal. Octobre 2005.

P. Morency P et MS Cloutier. Distribution géographique des blessés de la route sur l'île de Montréal. Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal. Septembre 2005.

Drouin L, King N, Morency P, Lapierre L. Transports et santé publique . 10e Colloque annuel de l'Association des Conseils Intermunicipaux de transport (ACIT). 23 et 24 septembre 2004.

Drouin L, King N, Morency P, Lapierre L. Les incidences sur la santé publique et les coûts engendrés. MUTA 2004. troisième forum international, Tremblant, 17 septembre 2004.

## ENSEIGNEMENT

Participation à la formation des médecins résidents en santé communautaire. Activités conjointes des programme de résidence de l'Université Mc Gill, l'Université de Montréal et l'Université de Sherbrooke.

- Volet prévention des traumatismes, durant le stage en environnement à la Direction de santé publique de Montréal.
- Séminaire dédié aux inégalités liées au système de transport (28 août 2009).
- Interrogateur pour les pratiques d'examen oral (2006-2008).

Conférencier invité. Université de Montréal.

- Interventions de santé publique dans le domaine du transport. MSO 6083 - Pratique de la santé publique. Avril 2010, avril 2009, avril 2008, avril 2007, avril 2006.
- Transports et santé publique. CIV 3930 - Projet de caractérisation avec GPS et GIS. Département génies civil, géologique et des mines. Novembre 2009, octobre 2009, septembre 2008.
- Transports et santé des populations. SOI 6127 - Approche communautaire. Octobre 2008.
- Environnement, géomatique, blessés de la route et inégalités. MSO 6039 - Sciences sociales et sciences humaines en santé publique, 28 mars 2007.

Conférencier invité. Université Mc Gill.

- The threat of traffic volume and major roads for pedestrians and cyclists. Transportation Seminar Series. School of Urban Planning, Mc Gill University, September 24, 2009.

Autres activités académiques.

- Membre du jury d'évaluation des projets finaux. Course CIVE 418 Design project. Department of civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, April 9, 2010.
- Membre du jury de la Charrette inter-universitaire du Centre Canadien d'Architecture (CCA): Nourrir la Ville / Nourishing the City, November 11, 2009.
- Conférences à la 3e édition de la charrette inter-universitaire en urbanisme : « Un air d'échangeur – le Complexe Turcot ». Université du Québec à Montréal, février-mars 2009.

Tuteur pour les activités d'enseignement liées au cours MMD 1240 « Épidémiologie clinique » .  
Faculté de médecine, Université de Montréal. 2005-2009.

Conception et enseignement du cours TXM-716 « Santé publique et toxicomanie ». Chargé de cours.  
Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université de Sherbrooke, 2004-2006.

## AFFILIATIONS ET COMITÉS

Chercheur associé à l'Institut de recherche de santé publique de l'Université de Montréal (IRSPUM), axe de recherche Environnement, travail et santé.

Membre du réseau stratégique de recherche et d'innovation en sécurité routière financé par le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), dirigé par François Bellavance (HEC Montréal).

Membre du comité scientifique des projets Quartiers verts actifs et en santé (QVAS). Centre d'écologie urbaine, Montréal.

Représentant de la Direction de santé publique de Montréal à la Table Québécoise sur la Sécurité Routière.