

# Chaire Mobilité

*Chaire de recherche sur l'évaluation et la mise  
en œuvre de la durabilité en transport*

## Rapport d'activités 2016-2017



# Chaire Mobilité

*Chaire de recherche sur l'évaluation et la mise en œuvre de la durabilité en transport*

## Rapport d'activités 2016-2017

---

### *Titulaire*

---

Pr Catherine Morency, ing., Ph.D.,  
Département des génies civil, géologique et des mines  
École Polytechnique de Montréal

---

### *Collaborateurs*

---

Pr Martin Trépanier, Pr Nicolas Saunier, Pr Bruno Agard  
Hubert Verreault, Jean-Simon Bourdeau, Pierre-Léo Bourbonnais, Jérôme Laviolette – associés de recherche

---

### *Partenaires*

---

Ville de Montréal  
Autorité régionale de transport métropolitain  
Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports  
Société de transport de Montréal

*Avril 2018*

*Le présent rapport témoigne des activités de recherche et développement de la Chaire Mobilité. Les résultats, analyses et constats présentés sont la seule responsabilité de la Chaire et n'engagent pas les partenaires. On ne peut présumer, non plus, que ceux-ci partagent les conclusions qui sont tirées.*

**Citation préférée:** Chaire Mobilité (2018). Rapport d'activités 2016-2017, Version préliminaire, Polytechnique Montréal, 104 pages.

# Table des matières

## Contents

1	Introduction .....	1
1.1	Mission générale de la Chaire Mobilité .....	1
1.2	Structure organisationnelle.....	2
1.2.1	Partenaires.....	2
1.2.2	Comité de gestion .....	2
1.2.3	Comité scientifique .....	2
1.3	Programme de recherche .....	2
1.4	Contenu du rapport .....	3
2	Activités de recherche .....	4
2.1	Marchabilité .....	4
2.1.1	Introduction .....	4
2.1.2	Revue de la littérature.....	5
2.1.3	Méthodologie .....	7
2.1.4	La pratique de la marche dans la région métropolitaine de Montréal .....	8
2.1.5	Adaptation d'un indicateur de marchabilité : le Pedestrian Index of the Environment.....	9
2.1.6	Modélisation de la demande piétonne selon différents bassins de déplacements 11	
2.1.7	Modélisation de la demande piétonne selon différentes unités spatiales et comparaison de la performance de divers indicateurs de marchabilité .....	12
2.1.8	Conclusion .....	13
2.2	Une enquête en ligne pour comprendre les choix d'itinéraires.....	15
2.2.1	Introduction .....	15
2.2.2	Enquête en ligne .....	16
2.2.3	Résultats de l'enquête.....	22
2.2.4	Conclusion .....	26
2.3	Analyse d'un an de données de cartes à puce .....	27
2.3.1	Introduction .....	27
2.3.2	Méthodologie générale .....	27
2.3.3	Résultats .....	29
2.3.4	Conclusion .....	34
2.4	Modèle de génération de déplacements en vélopartage.....	35

2.4.1	Introduction .....	35
2.4.2	Méthodologie générale .....	35
2.4.3	Analyse descriptive .....	35
2.4.4	Modélisation .....	36
2.4.5	Résultats du modèle.....	38
2.4.6	Conclusion et perspectives .....	40
2.5	Facteurs affectant les durées d’entrevue d’enquêtes web sur la mobilité .....	42
2.5.1	Introduction .....	42
2.5.2	Revue de littérature .....	43
2.5.3	Contexte et données .....	44
2.5.4	Méthodologie .....	48
2.5.5	Résultats : durée d’entrevue pour enquête-ménage.....	50
2.5.6	Conclusion .....	52
2.6	Potentiel des modes actifs .....	54
2.6.1	Introduction .....	54
2.6.2	Revue de littérature .....	54
2.6.3	Méthodologie .....	56
2.6.4	Résultats .....	62
2.6.5	Conclusion et perspectives.....	66
2.7	Calculateurs de trajets vélos .....	68
2.7.1	Problématique .....	68
2.7.2	Méthodologie .....	68
2.7.3	Comparaison des trajets calculés avec les trajets observés dans l’application MontréalTrajet.....	70
2.7.4	Travaux en cours .....	73
2.8	Mesure de l’équité des systèmes de transport .....	74
2.8.1	Objectif .....	74
2.8.2	Aperçu des connaissances .....	74
2.8.3	Méthode générale.....	75
2.8.4	Résultats escomptés .....	76
2.9	Partage des espaces-temps urbains .....	77
2.9.1	Introduction .....	77
2.9.2	Objectifs.....	77
2.9.3	Méthodologie générale .....	78
2.10	Démarche Code de la rue.....	79

2.10.1	Introduction .....	79
2.10.2	Contributions méthodologiques .....	80
2.10.3	Contributions analytiques .....	84
2.10.4	Synthèse des variables clés à considérer .....	87
3	Rayonnement .....	89
3.1	Publications (2016-2017) .....	89
3.2	Participation à des congrès .....	89
3.2.1	Congrès annuel du transportation research board 2016 .....	89
3.2.2	Congrès annuel de l'Association québécoise des transports 2016.....	90
3.2.3	World conference on transport research 2016 .....	90
3.2.4	Congrès annuel de l'Association québécoise des transports 2017.....	91
3.2.5	International conference on transport survey method 2017.....	92
4	Références .....	93

# Liste des figures

Figure 1. Représentation schématique du programme de recherche de la Chaire Mobilité.....	3
Figure 2. Le modèle comportemental de l'environnement, d'après Moudon and Lee (2003).....	7
Figure 3. Méthodologie générale du projet de recherche .....	8
Figure 4. Part modale de la marche pour les déplacements de moins de 1,3 kilomètre.....	9
Figure 5. Distribution spatiale du PIE dans la région de Montréal .....	10
Figure 6. Part modale des déplacements courts selon la valeur du PIE calculé à l'origine du déplacement.....	11
Figure 7. Unités spatiales de mesure possibles .....	12
Figure 8. Principales classes de variables ayant une incidence sur le choix des itinéraires routiers .....	15
Figure 9. Interface d'accueil de l'enquête web pour la collecte de données sur les itinéraires routiers.....	16
Figure 10. Principales catégories d'information recueillie auprès des répondants.....	17
Figure 11. Écran relatif à la section Profil.....	19
Figure 12. Spécification de deux trajets alternatifs .....	20
Figure 13. Extrait d'énoncés de la section Préférences.....	22
Figure 14. Méthode de recrutement et nombre de réponses pendant la durée de la période d'enquête .....	23
Figure 15. Pourcentage de questionnaires complétés à chaque heure de la journée pour la durée complète d'enquête.....	24
Figure 16. Distribution de différents indicateurs associés aux comportements de réponse.....	25
Figure 17. Suivi des abandons en cours d'enquête.....	26
Figure 18. Distribution fréquentielle du nombre total de transactions par carte-année .....	30
Figure 19. Distribution fréquentielle du nombre de transactions par carte-produit-année, par type de produit.....	30
Figure 20. Choix du nombre k de clusters avec la variance expliquée (a) et le dendrogramme (b) .....	31
Figure 21. Intensité annuelle normalisée et répartition des transactions mensuelles des six groupes (centres) .....	33
Figure 22. Distribution des flux quotidiens selon le mois .....	36
Figure 23. Résidus du modèle de production de déplacements pour une zone d'attractivité de 500m .....	40
Figure 24. Modèle de durée d'entrevue pour les enquêtes-ménage.....	51
Figure 25. Modèle de durée d'entrevue pour les enquêtes-personne.....	52
Figure 26. Zone de chevauchement pour les déplacements latents à la marche et en vélo .....	58
Figure 27. Procédure d'estimation pour les déplacements latents à la marche et en vélo (MA = marche et VE = vélo) .....	61
Figure 28. Résultats de la procédure d'estimation des déplacements latents.....	63
Figure 29. Taux de déplacements à la marche et en vélo par personne avant et après l'addition des déplacements latents.....	66
Figure 30. Élévation des liens OpenStreetMap dans la grande région de Montréal .....	69
Figure 31. Facteurs de modification selon les différents intervalles de pentes pour les réseaux cyclables ( <a href="https://gicycle.wordpress.com/2014/06/12/slope-and-routing/">https://gicycle.wordpress.com/2014/06/12/slope-and-routing/</a> ) .....	70
Figure 32. Pourcentage de chevauchement entre la trace GPS et le chemin calculé.....	72
Figure 33. Distribution des distances de déplacement (mètres).....	73

Figure 34. Les cinq caractéristiques des ZAPP (zone de rencontre à Genève, Suisse).....	80
Figure 35. Méthodologie de consultation du projet .....	81
Figure 36. Exemples réels de ZAPP (gauche) et de bandes centrales polyvalente (droite) .....	83
Figure 37. Distance de visibilité d'arrêt selon la vitesse et le temps de perception et de réaction .....	86
Figure 38. Volume piéton prioritaire $q^1$ selon le volume de véhicules $q^2$ .....	87
Figure 39. Volume de véhicules cédant aux piétons selon la largeur de la ZAPP .....	87

# Liste des tableaux

Tableau 1. Variables employées dans certains indicateurs de marchabilité issus de la littérature	6
Tableau 2. Bases de données utilisées	8
Tableau 3. Questions de la section Profil	17
Tableau 4. Questions de la section Domicile	18
Tableau 5. Questions de la section Déplacements	18
Tableau 6. Liste des questions de la section Itinéraires	20
Tableau 7. Liste d'énoncés de la section Préférences	21
Tableau 8. Liste des questions de la section Fin	22
Tableau 9. Courriels d'invitation transmis à la banque de courriels de la Chaire Mobilité	23
Tableau 10. Propriétés des répondants	24
Tableau 11. Extraits de la base de données de cartes-années a) avant la normalisation et b) après la normalisation	28
Tableau 12. Synthèse des résultats de la classification	32
Tableau 13. Sommaire de la distribution des variables indépendantes	38
Tableau 14. Résultats des modèles de production et attraction de déplacements	39
Tableau 15. Contexte des enquêtes conduites entre 2010 et 2015	45
Tableau 16. Statistiques descriptives, taux de réponse et taux d'achèvement pour les 2 enquêtes-ménage réalisées en 2011 et 2013.	46
Tableau 17. Statistiques descriptives, taux de réponse et taux d'achèvement pour les 7 enquêtes-personne réalisées entre 2010 et 2013.	47
Tableau 18. Hypothèses utilisées pour la modélisation de la durée d'entrevue des enquêtes-ménage et enquêtes-personne.	48
Tableau 19. Statistiques descriptives des variables indépendantes utilisées dans la modélisation de la durée d'entrevue des enquêtes-ménage QC11 et MTL13.	49
Tableau 20. Statistiques descriptives des variables indépendantes utilisées dans la modélisation de la durée d'entrevue des enquêtes-personne PY11, UM11, TR11, SH13, CM13 et BX13	49
Tableau 21. Distances seuils de la marche selon l'âge et le genre	57
Tableau 22. Distances seuils du vélo selon l'âge et le genre	57
Tableau 23. Déplacements latents et pourcentage de ceux-ci selon le monde de transport.	64
Tableau 24. Pourcentage des déplacements latents en fonction du motif d'activités.	65
Tableau 25. Parts modales des déplacements avant et après l'addition des déplacements latents	65
Tableau 26. Déplacements faits dans l'application MontréalTrajet en vélo	71
Tableau 27. Comparaison questionnaire Web vs forums pour l'applicabilité de 9 aspects des ZAPP	84
Tableau 28. Modèles de régression logistique : applicabilité globale de la ZAPP (avant vs après)	85
Tableau 29. Modèles de régression logistique : changements de perceptions (9 aspects ZAPP)	85

# 1 Introduction

## 1.1 Mission générale de la Chaire Mobilité

La Chaire Mobilité a officiellement amorcé son second mandat à la fin de l'année 2016. Cette Chaire a été créée en 2010, dans le contexte où plusieurs autorités de transport se questionnaient sur l'évaluation du niveau de durabilité de leur plan, politique et projet de transport. Le premier mandat de cette Chaire s'est déroulé sur une période de 5 ans, de 2010-2015, et a permis de mettre sur pied un programme de recherche orienté autour de l'évaluation et de la mise en œuvre de la durabilité en transport, principalement par le biais de recherches de maîtrise et doctorat. En effet, la Chaire assure une mission claire de formation de personnel hautement qualifié.

Les objectifs de la Chaire ont d'ailleurs été articulés dès le début de ses activités selon six grands axes :

- **Veille.** Tous les projets de recherche impliquent le suivi de l'état des connaissances et ce, afin de bien identifier les limites des approches disponibles et les opportunités de contributions.
- **Recherche.** Le Chaire assure principalement des activités de recherche qui visent à développer de nouvelles connaissances et contribuer à une compréhension plus nette et objectives des enjeux associés à la planification des transports et réseaux, à la modélisation de la mobilité et à l'évaluation du niveau de durabilité. Tout ceci, dans une perspective de contribuer à la prise de décision.
- **Développement.** Plusieurs des contributions sont de nature méthodologique ce qui suggère des potentialités de développement importantes. Les recherches visent à démontrer certaines fonctionnalités et éventuellement à proposer des développements d'outils opérationnels, dans le cadre d'autres ententes. Les travaux de la Chaire assurent les développements conceptuels et méthodologiques qui permettent de soutenir la modélisation des comportements et l'évaluation de différents scénarios.
- **Évaluation du niveau de durabilité.** La notion de niveau de durabilité est sous-jacente à l'ensemble des recherches entreprises à la Chaire. La formalisation d'un cadre conceptuel du niveau de durabilité s'inscrit aujourd'hui en filigrane des différentes recherches.
- **Formation.** La Chaire donne une grande place aux étudiants et leur assure un rôle de premier plan dans l'articulation des recherches. En outre, ces recherches se retrouvent rapidement au sein de la formation des futurs ingénieurs civils et alimentent l'articulation des prochaines recherches.
- **Transfert.** Assurer le transfert des connaissances et méthodes est un défi de premier plan et la Chaire assure une présence importante dans plusieurs activités de diffusion, en plus d'inviter la communauté à entendre ses résultats lors du colloque annuel. La mise en ligne des maîtrises, doctorats et d'un rapport annuel témoigne de la préoccupation de diffuser les travaux.
- **Pôle multidisciplinaire.** Le génie des transports de Polytechnique se porte très bien : les professeurs attirent un nombre important et constant d'étudiants provenant de différents horizons. D'ailleurs, c'est bientôt cinq professeurs qui seront actifs en génie civil – transports, ce qui multipliera les opportunités de recherche et développement. Tous seront évidemment invités à collaborer aux activités de la Chaire Mobilité.

## 1.2 Structure organisationnelle

### 1.2.1 Partenaires

La Chaire Mobilité a été initiée, en 2010, par quatre partenaires institutionnels : la Ville de Montréal, la Société de transport de Montréal, le Ministère des transports devenu le Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports ainsi que l'Agence métropolitaine de transport devenue notamment l'Agence régionale de transport métropolitain.

Le 2<sup>e</sup> mandat de la Chaire Mobilité est actuellement soutenu par ces mêmes partenaires.

### 1.2.2 Comité de gestion

Le comité de gestion de la Chaire est constitué des chercheurs impliqués dans ses activités à savoir :

- Pre Catherine Morency, titulaire de la Chaire, professeure titulaire au département des génies civil, géologique et des mines
- Pr Martin Trépanier, professeure titulaire au département de mathématiques et génie industriel
- Pr Nicolas Saunier, professeur agrégé au département des génies civil, géologique et des mines
- Pr Bruno Agard, professeure titulaire au département de mathématiques et génie industriel
- Hubert Verreault, M.Sc.A., associé de recherche
- Pierre-Léo Bourbonnais, Ph.D., associé de recherche
- Jean-Simon Bourdeau, M.Sc.A., associé de recherche

### 1.2.3 Comité scientifique

Dès son lancement, la Chaire a créé un comité scientifique constitué d'experts internationaux sur différents thèmes d'intérêt de la Chaire, d'une part pour assurer son rayonnement international et l'émergence de collaborations de recherche et d'autre part pour assurer qu'un regard critique et indépendant soit porté sur ses activités. Le comité scientifique est actuellement composé de :

- Pr Matthew Roorda: Département de génie civil de l'Université de Toronto (modélisation du transport des marchandises et passagers)
- Pr Antonio Paez: École de géographie et des sciences de la terre de l'Université McMaster (analyse spatiale et statistique, comportements de mobilité)
- Pr Zachary Patterson (depuis juin 2013): Département de géographie, planification et environnement, Faculté des arts et des sciences, Université Concordia (Montréal, Canada); le professeur Patterson succède au professeur Paul Lewis de l'Institut d'urbanisme de l'Université de Montréal.
- Dr Patrick Bonnel: Laboratoire d'Économie des transports de Lyon (Analyse des comportements de mobilité urbaine, modélisation de la demande de transport)
- Pr Kostas Goulias: Laboratoire Geotrans de l'Université de Californie à Santa Barbara (Modélisation de la demande de transport, modèles d'activités, simulations par agents)

## 1.3 Programme de recherche

Le programme de la Chaire s'articule autour de cinq grands axes de recherche, tel qu'illustré sur la Figure 1 : 1) la modélisation des comportements individuels de mobilité, 2) la modélisation des facteurs ayant une incidence sur les comportements de mobilité, 3) la modélisation des impacts des comportements de mobilité, 4) l'expérimentation et le développement de méthodes de collecte, traitement et analyse de données et 5) la formulation et l'estimation de scénarios.

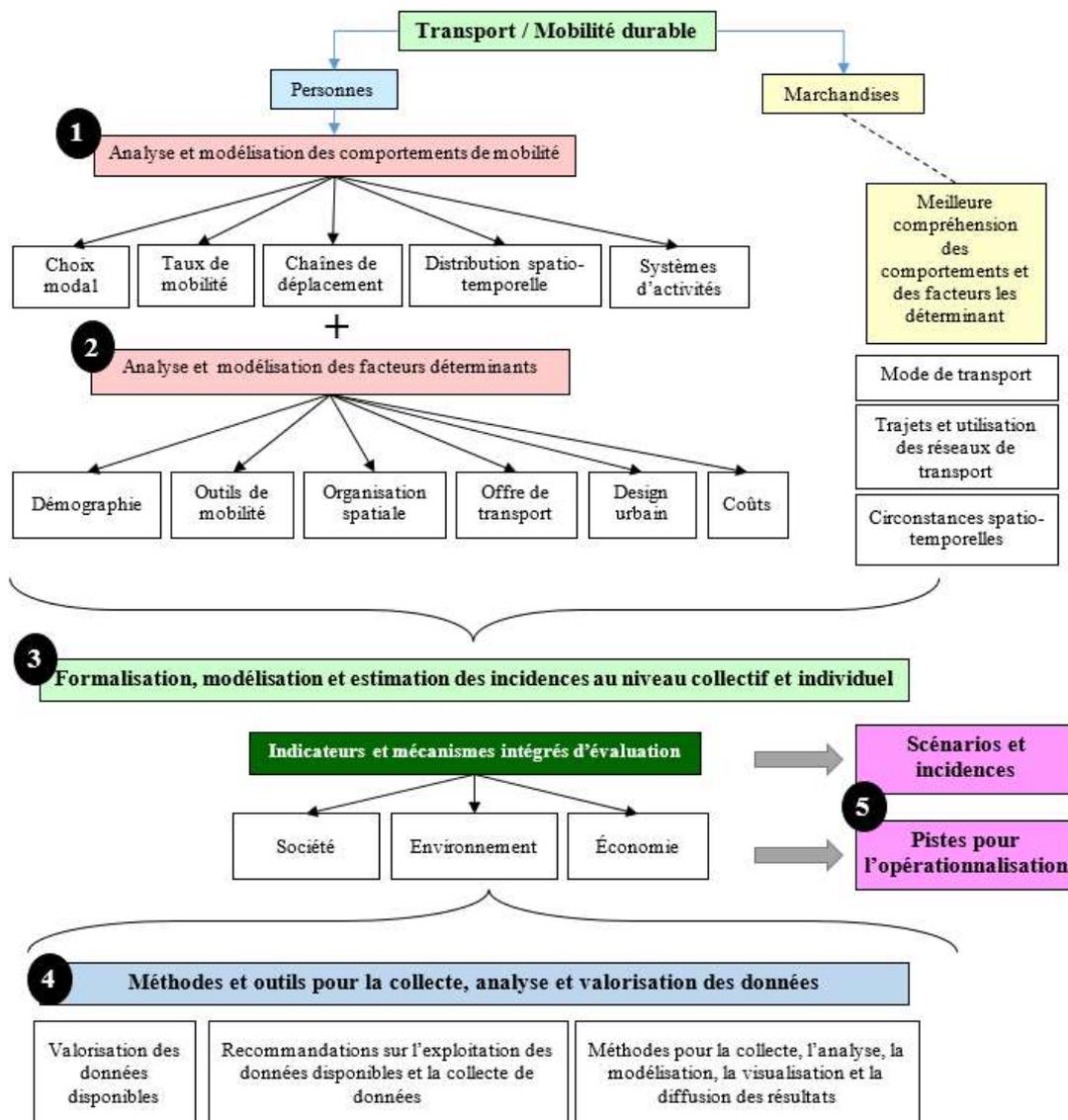


Figure 1. Représentation schématique du programme de recherche de la Chaire Mobilité

#### 1.4 Contenu du rapport

Ce document fait état des activités de recherche conduites en amorce du second mandat de la Chaire Mobilité et couvre la période se terminant en décembre 2017. Tous les partenaires n'ayant pas confirmé leur participation à la même date, le début des activités complètes de la Chaire ne s'est fait qu'en janvier 2017, avec certains étudiants toujours actifs en continuité des travaux amorcés lors du premier mandat et d'autres ayant amorcé leur réflexion au courant de l'automne.

Les différentes activités de recherche conduite par les étudiants et professionnels de la Chaire sont décrites dans la prochaine section. Différentes activités de rayonnement sont aussi présentées.

## 2 Activités de recherche

### 2.1 Marchabilité

- Par : Gabriel Lefebvre-Ropars, maîtrise
- Complété en Juillet 2017
- Supervision : Pre Catherine Morency
- Contexte : Chaire Mobilité
- Source : Lefebvre-Ropars, G.-L. (2017). Analyse de la contribution des indicateurs de marchabilité à la modélisation de la demande piétonne (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal). Tiré de <https://publications.polymtl.ca/2714/>

Cette section est composée en majeure partie d'extraits du mémoire de Gabriel Lefebvre-Ropars, intitulé *Analyse de la contribution des indicateurs de marchabilité à la modélisation de la demande piétonne*.

#### 2.1.1 Introduction

En réponse à la multiplication des milieux de vie entraînant une dépendance à l'automobile, un nouveau paradigme a émergé dans le domaine de l'aménagement du territoire au cours des années 1990. Les projets associés à cette nouvelle vague de planification cherchent à recréer, dans les nouveaux développements, une forme urbaine basée sur les déplacements à pied afin d'encourager les habitants à délaissier leurs véhicules. Il subsiste toutefois une incertitude quant à la manière de caractériser et de mesurer ce caractère piétonnier, ou « marchabilité », des environnements urbains. Dans un contexte où les pouvoirs publics multiplient les démarches et les objectifs pour augmenter la part modale de la marche (le Plan de transport de la Ville de Montréal (2008), par exemple), il est pourtant essentiel de disposer d'outils permettant de mesurer le progrès réalisé à travers la mise en œuvre de ces stratégies. Ce mémoire cherche à clarifier le lien entre diverses manières de mesurer la marchabilité et les comportements de mobilité observés des individus.

##### 2.1.1.1 Problématique

De nombreuses études se sont intéressées au lien entre diverses variables relatives à la forme urbaine et les comportements de mobilité – voir notamment les revues de littérature effectuées par Ewing and Cervero (2001, 2010) ainsi que Wong, Faulkner, and Buliung (2011). Toutefois, lorsque vient le moment d'intégrer toutes ces variables dans une démarche de modélisation du choix modal, le chercheur se bute à la forte corrélation de ces variables entre elles. Une telle colinéarité entre les variables explicatives peut conduire à une interprétation erronée de leur corrélation avec le phénomène à expliquer, ce qui peut invalider la démarche d'analyse (Wong et al., 2011). Afin de contourner ce problème, de nombreux chercheurs ont proposé des méthodes qui combinent diverses dimensions de l'environnement urbain en un seul indicateur composite, lequel peut être ensuite inclus dans un modèle de choix modal. Ces indicateurs composites de marchabilité permettent d'éviter les biais pouvant découler de la colinéarité des variables, tout en tirant parti du pouvoir explicatif du plus grand nombre possible de variables (Vale, Saraiva, & Pereira, 2015).

L'objectif principal de ce projet est de mieux comprendre les interactions entre la forme urbaine et la pratique de la marche. Différents indicateurs de marchabilité issus de la littérature scientifique sont mobilisés afin de représenter la forme urbaine dans une démarche de modélisation du choix modal. Ces indicateurs sont adaptés au contexte de la région métropolitaine de Montréal. Une attention particulière est portée à la construction de ces indicateurs afin de bien saisir l'effet qu'ont les choix méthodologiques sur leur capacité à

expliquer la pratique de la marche en milieu urbain. Les objectifs spécifiques poursuivis par cette démarche sont les suivants :

1. Identifier les variables ayant une incidence sur les comportements individuels de mobilité, notamment le recours aux modes actifs et alternatifs;
2. Recenser les mesures de la marchabilité proposées par la recherche en transport, en urbanisme et en santé publique;
3. Effectuer des tests de sensibilité sur un indicateur sélectionné, le *Pedestrian Index of the Environment*, ou PIE (Singleton, Schneider, Muhs, & Clifton, 2014), afin d'approfondir la connaissance des enjeux méthodologiques soulevés par les indicateurs de marchabilité;
4. Valider le pouvoir explicatif de cet indicateur à l'aide d'une démarche comparative incluant d'autres indicateurs de marchabilité;
5. Contribuer à la connaissance sur les liens entre la forme urbaine et la pratique de la marche à l'aide d'une démarche de modélisation du choix modal.

### 2.1.2 Revue de la littérature

La marchabilité représente la qualité de l'environnement bâti dans le contexte de l'expérience piétonne Koschinsky, Talen, Alfonso, and Lee (2016). Toutefois, l'échelle à laquelle cette qualité de l'environnement bâti est mesurée varie selon les auteurs. Deux définitions principales émergent de la littérature : la marchabilité décrirait, selon les uns, la qualité de l'environnement physique immédiat du piéton, ou encore, selon les autres, la capacité d'un milieu de vie à offrir des opportunités accessibles à pied. On pourrait donc parler de la marchabilité comme de l'expérience piétonne offerte par un milieu urbain ou comme du potentiel piétonnier de ce milieu. Évidemment, ces deux notions ne sont pas incompatibles et plusieurs auteurs les combinent afin d'englober l'entièreté de l'expérience piétonne. Toutefois, la complexité des mesures basées sur l'expérience piétonne restreint leur potentiel à l'échelle locale. Si elles n'en demeurent pas moins des outils indispensables pour interpréter l'environnement urbain dans le cadre de projets ciblés, ces mesures ne peuvent aisément être employées pour modéliser le choix de la marche en tenant compte de la diversité des milieux urbains présents dans une région métropolitaine. Pour ces raisons, le présent mémoire traite de la marchabilité comme potentiel piétonnier et se concentre sur les variables qu'il est possible de mesurer de manière systématique à grande échelle.

#### 2.1.2.1 Les variables corrélées avec la pratique de la marche

La recherche a démontré qu'en plus des caractéristiques de l'individu, du déplacement et de l'offre de transport, les variables qui caractérisent la forme urbaine ont une influence sur le choix du mode emprunté (Ewing & Cervero, 2001, 2010). Ces variables peuvent être mesurées à différentes échelles, de l'agglomération urbaine dans son ensemble au voisinage des individus et des ménages. Elles sont souvent regroupées en 5 catégories, surnommées les 5 D : densité, diversité, design, distance d'accès au transport collectif et destinations accessibles. De nombreuses revues de littérature répertorient ces variables (Wong et al., 2011, par exemple).

#### 2.1.2.2 Les indicateurs de marchabilité

Afin d'éviter le retrait des variables corrélées du modèle, de nombreux chercheurs ont développé depuis les années 1990 des méthodes permettant de combiner, au sein d'une seule variable, diverses composantes de l'environnement bâti, contournant ainsi le problème de la colinéarité (Lamíquiz & López-Domínguez, 2015). Ces mesures, appelées « indicateurs de marchabilité », sont nombreuses et émanent de divers domaines de recherche, dont la santé publique, les études urbaines, la géographie et, évidemment, le transport. Tel que mentionné précédemment, Vale et al. (2015) en recensent d'ailleurs plus de 80 dans leur revue de littérature sur le sujet.

Ces nombreuses mesures couvrent divers aspects de l'environnement urbain, mais leur couverture est variable et dépend largement de la disponibilité des données dans le contexte de création de la mesure ainsi que des assises théoriques de la discipline d'origine de leurs créateurs. Il n'existe donc pas encore de consensus au sujet des variables qui devraient être incluses dans un indicateur cherchant à représenter un environnement urbain marchable (Lamíquiz & López-Domínguez, 2015). De plus, plusieurs de ces mesures n'ont jamais été validées avec des déplacements observés afin d'établir leur corrélation avec les comportements de mobilité active (Maghelal & Capp, 2011).

Dans le cadre de ce mémoire, une sélection d'indicateurs de marchabilité recensés par la littérature a été analysée avec l'objectif de démontrer la diversité des variables et des méthodes de combinaison employées dans leur construction. Le Tableau 1 offre un résumé des variables incluses dans chacun des indicateurs sélectionnés.

Tableau 1. Variables employées dans certains indicateurs de marchabilité issus de la littérature

Variables		Appleyard 2015	Walk Score®	Sinleton 2014	Frank 2010	Kusmyak 2006a	Kusmyak 2006b	Witten 2011	Buck 2014a	Buck 2014b	INSPIQ 2009
Densité	Densité de population				X				X	X	X
	Densité de destinations			X							X
Diversité	Mixité de l'utilisation du sol				X				X	X	X
	Usages réservés à l'automobile	X									
	Esthétique urbaine	X									
Design	Densité d'intersections		X	X	X				X	X	X
	Types d'intersections		X				X				
	Réseau de transport actif			X							
	Tortuosité du réseau	X									
Destinations	Commerces et services	X	X	X	X	X		X			
	Offre en espaces verts							X		X	
Offre TC	Offre en transport collectif			X				X	X	X	

### 2.1.2.3 Les enjeux méthodologiques de la modélisation des déplacements à pied

La littérature relève plusieurs enjeux qui peuvent complexifier la modélisation des interactions entre variables de voisinage et déplacements à pied. Parmi ces enjeux, le principal demeure la définition de l'unité spatiale de mesure de la marchabilité. La construction d'un indicateur de marchabilité pour un voisinage nécessite en effet une définition préalable de la notion de voisinage. Il n'existe cependant aucune définition standardisée de cette notion et les unités de mesure varient selon le cas d'étude et la disponibilité des données. Plusieurs chercheurs, par exemple, utilisent des découpages statistiques et administratifs – secteurs de recensement ou aires de diffusion, par exemple – comme unité spatiale de base, associant à chacune de ces unités une valeur pour chaque variable mesurée. D'autres, cherchant à s'abstraire de ces découpages arbitraires, utilisent plutôt des zones tampons construites autour du lieu de mesure, avec une distance maximale établie à vol d'oiseau ou sur le réseau. Cette distance maximale est souvent fixée à un seuil qui peut sembler arbitraire – 1 mille, ¼ de mille, 1 kilomètre, 500 mètres... – mais dont la définition peut influencer considérablement l'effet observé des variables (Wong et al., 2011).

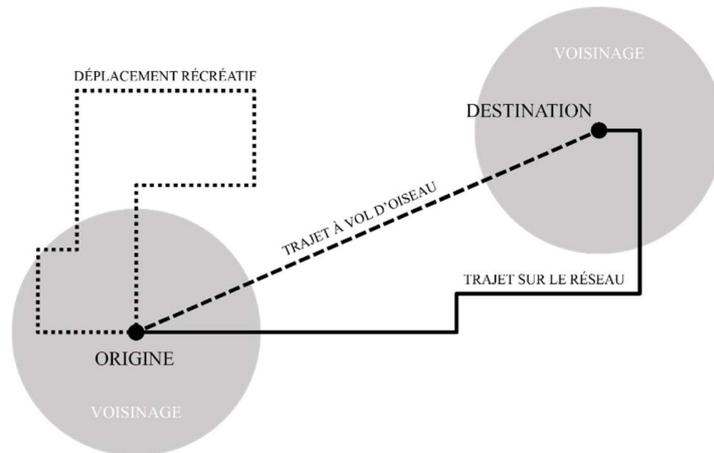


Figure 2. Le modèle comportemental de l'environnement, d'après Moudon and Lee (2003)

Il existe d'autre part une incertitude quant au lieu de mesure des variables de voisinage qui permet de cerner leur effet sur les comportements de mobilité. Moudon and Lee (2003) établissent, dans leur modèle comportemental de l'environnement, trois composantes essentielles de la collecte de données relatives à l'environnement urbain : l'origine et la destination, le trajet entre ces deux points, ainsi que la zone entourant ces deux points (voir figure 2). Selon les auteurs, ces trois éléments doivent être pris en compte pour mesurer l'ensemble des liens possibles entre environnement urbain et pratique de la marche.

### 2.1.3 Méthodologie

#### 2.1.3.1 Méthodologie générale du projet

La figure 3 représente le processus méthodologique ayant guidé la démarche de recherche. Une revue de littérature permet d'identifier des variables relatives à divers univers de données ayant une influence sur la pratique de la marche. Ces variables sont ensuite rassemblées dans une base de données relationnelle. Les données employées sont présentées au Tableau 2. Toujours sur la base de la revue de littérature, divers indicateurs de marchabilité sont identifiés et un indicateur de référence est construit à l'aide des variables de voisinage. Des tests de sensibilité sont réalisés afin d'évaluer la variabilité dans la représentation de l'environnement urbain des différents indicateurs selon les paramètres employés dans leur construction.

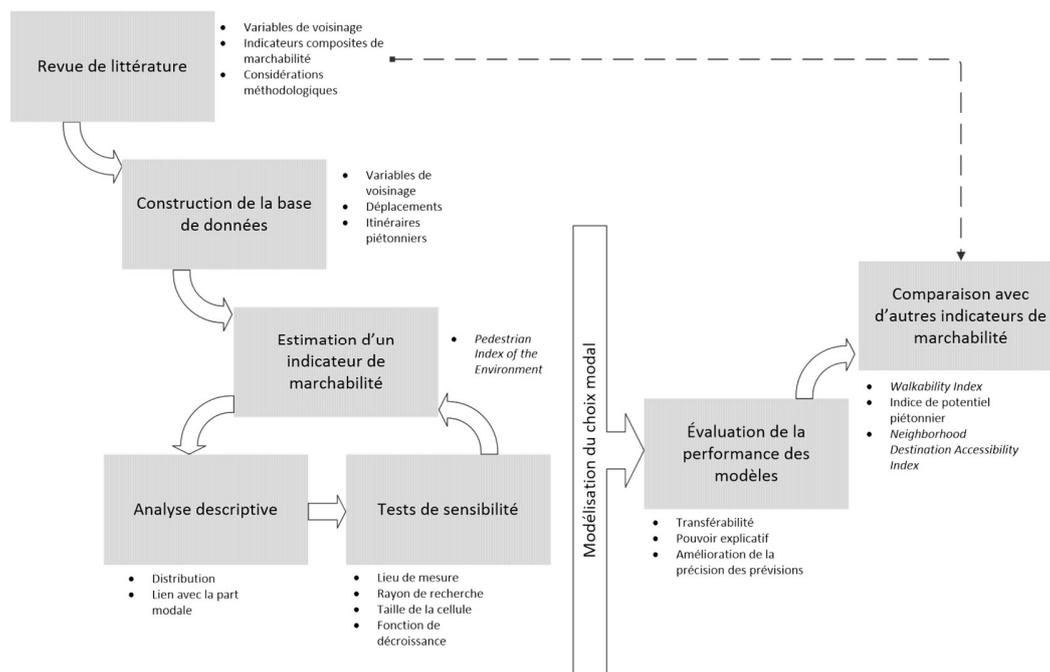


Figure 3. Méthodologie générale du projet de recherche

Pour préparer le terrain à l'élaboration de modèles de choix modal, une analyse descriptive des données de mobilité à l'échelle du territoire d'analyse est réalisée. Une série de modèles de choix discret intégrant l'indicateur de référence et visant à expliquer et à prévoir le choix de la marche est élaborée, le tout sur la base de divers ensembles de déplacements et de divers paramètres relatifs à l'unité spatiale de mesure. Les performances de l'indicateur de référence dans un contexte de modélisation du choix de la marche sont ensuite comparées à une sélection d'indicateurs de marchabilité issus de la littérature.

Tableau 2. Bases de données utilisées

Ensemble de données	Année de référence	Producteur des données	Type de données
Enquête Origine-Destination, v13.2b	2013	AMT	Gouvernementales
Réseau routier	2016	OpenStreetMap	Ouvertes
Recensement de la population	2011	Statistique Canada	Gouvernementales
Enquête nationale sur les ménages	2011	Statistique Canada	Gouvernementales
Utilisation du sol	2014	CMM	Ouvertes
Business Locations	2012	Envionics Analytics Group	Privées
Ensembles de fichiers au format GTFS	2013	Autorités organisatrices de transport	Ouvertes

#### 2.1.4 La pratique de la marche dans la région métropolitaine de Montréal

Plusieurs caractéristiques d'un déplacement peuvent contraindre un individu à employer un autre mode de transport, dont la distance et la structure de la chaîne de déplacements (Sicotte, 2014). Dans la région de Montréal, la part modale de la marche décroît rapidement à mesure que la longueur des déplacements augmente, atteignant à peine 5 % lorsque le déplacement mesure 3 kilomètres. En contrepartie, la marche est choisie pour plus de 50 % des déplacements dont la longueur est inférieure à 700 mètres.

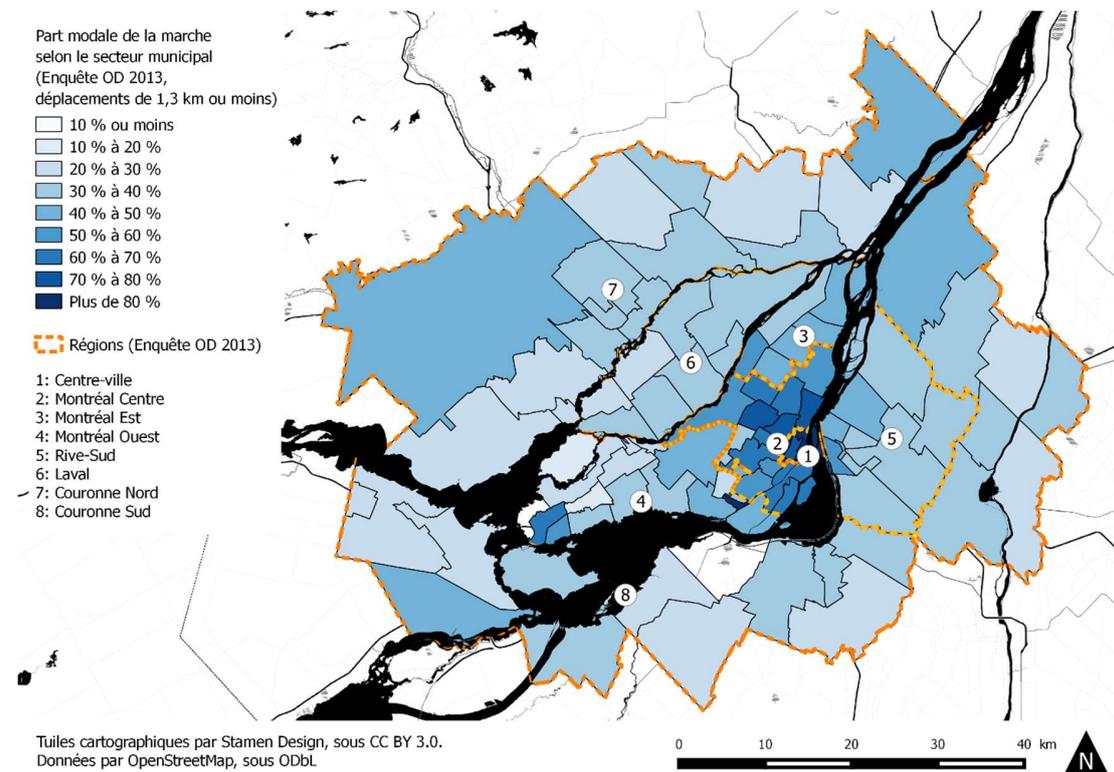


Figure 4. Part modale de la marche pour les déplacements de moins de 1,3 kilomètre

Les déplacements non transférables à la marche sont peu utiles dans une démarche de modélisation du choix de se déplacer à pied, ou même pour décrire le phénomène de la marche. Le concept de distance-seuil est défini comme le 80<sup>e</sup> centile des distances parcourues pour un mode donné (Godefroy & Morency, 2012). Dans l'Enquête OD 2013, la distance-seuil sur le réseau pour les déplacements à pied, calculée à partir des itinéraires modélisés, est de 1,3 kilomètre. Cette distance définit donc le bassin de compétitivité de la marche, c'est-à-dire la distance maximale pour laquelle la marche peut être considérée comme une alternative modale. Parmi les 1 416 303 déplacements dont la longueur est inférieure à la distance-seuil de 1,3 kilomètre, on compte 686 696 déplacements effectués à pied, ce qui correspond à une part modale de 48,49 %. Cela confirme la place prépondérante de la marche dans les déplacements courts à l'échelle de la région métropolitaine de Montréal.

#### 2.1.5 Adaptation d'un indicateur de marchabilité: le Pedestrian Index of the Environment

Parmi les mesures recensées lors de la revue de la littérature scientifique, un indicateur en particulier ressort du lot en raison de sa couverture exhaustive des diverses dimensions de l'environnement urbain et des innovations méthodologiques qu'il intègre : le *Pedestrian Index of the Environment* (PIE). En effet, tel que mis en évidence par le Tableau 1, le PIE intègre une variable de quatre des cinq catégories de variables (les 5 D) de l'environnement urbain. Les variables qui composent le PIE sont les suivantes (Kelly J. Clifton, Singleton, Muhs, & Schneider, 2016a, 2016b; Kelly J Clifton, Singleton, Muhs, Schneider, & Lagerwey, 2013; Singleton et al., 2014) :

1. Le confort des infrastructures routières;
2. La taille des îlots;

3. La densité de population et d'emplois;
4. L'accès au transport collectif en période de pointe;
5. Les commerces et services de proximité.

L'unité spatiale de base du PIE est la zone d'analyse piétonne (*Pedestrian Analysis Zone*) telle que définie par Clifton et al. (2013), c'est-à-dire une cellule de 80 m par 80 m dans une grille couvrant l'ensemble de la région métropolitaine. Cette unité, dont la taille a été définie en fonction de la distance moyenne pouvant être parcourue à pied en une minute, permet d'éviter les effets de frontière propres aux zones d'analyse transport (*Transportation Analysis Zones*, ou TAZ) ou aux autres types de découpages (administratif, statistique, etc.) grâce à l'emploi d'une zone-tampon depuis le centre de la cellule pour mesurer les différentes variables (Kelly J Clifton et al., 2013). L'emploi d'une grille permet également d'analyser le territoire de manière uniforme. L'indicateur est calculé pour chacune des cellules de cette grille. C'est cette grille qui est employée comme base pour toute la démarche de construction d'une base de données de variables de voisinage et d'adaptation des indicateurs de marchabilité. La distribution de l'indicateur est présentée à la figure 5.

Afin d'évaluer le potentiel du PIE pour décrire l'environnement urbain dans le contexte du choix de la marche, une analyse de la valeur de l'indicateur à l'origine des déplacements observés dans l'Enquête OD 2013 est effectuée. Pour ce faire, la valeur du PIE de la cellule où se trouve l'origine de chaque déplacement de la base de données est associée à ce même déplacement à l'aide d'une jointure spatiale réalisée dans PostGIS. Il est ainsi possible de compiler, pour chaque classe du PIE à l'origine, la part des différents modes. Une analyse préliminaire démontre que la part modale de la marche semble être liée à la valeur du PIE. En effet, comme le montre la figure 6, environ 30 % des déplacements courts dont l'origine est située dans une zone où la valeur du PIE est faible sont réalisés à pied, tandis que cette part augmente à près de 80 % lorsque la valeur du PIE à l'origine dépasse 80. Cela semble mettre en relief un lien entre cet indicateur et la pratique de la marche dans le contexte de la région de Montréal.

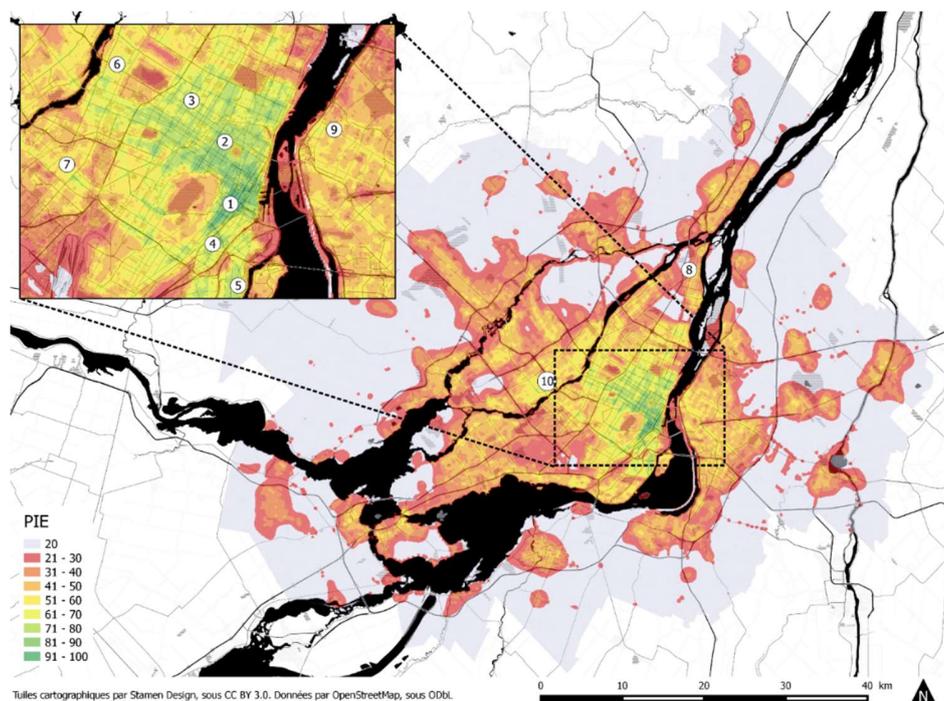


Figure 5. Distribution spatiale du PIE dans la région de Montréal

Le PIE apparaît donc comme une mesure dont le transfert à une autre région métropolitaine, en l'occurrence la région de Montréal, est possible. Les différentes variables qui le composent peuvent être recréées à l'aide de jeux de données locaux et l'indicateur présente toujours, à première vue, une corrélation avec la pratique de la marche. Cette corrélation est étudiée plus en profondeur dans les deux chapitres suivants à l'aide d'une démarche de modélisation du choix modal.

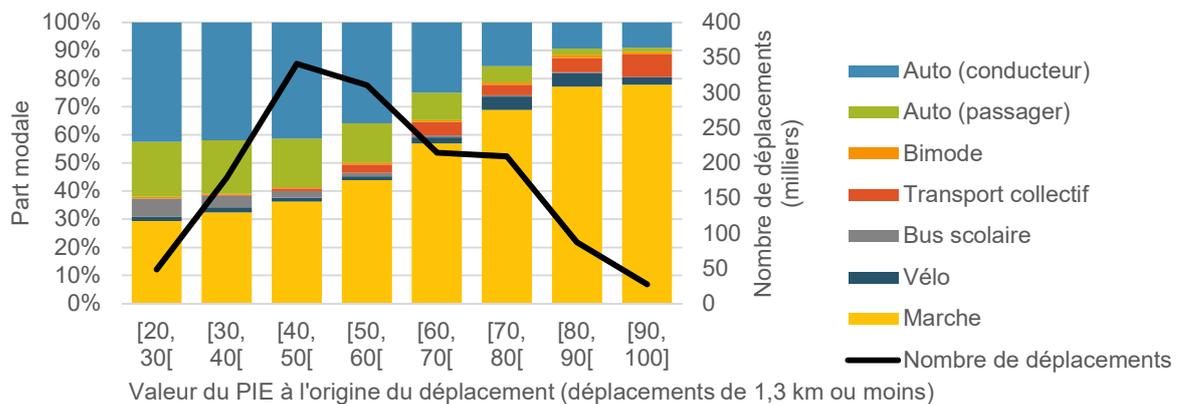


Figure 6. Part modale des déplacements courts selon la valeur du PIE calculé à l'origine du déplacement

### 2.1.6 Modélisation de la demande piétonne selon différents bassins de déplacements

La modélisation du choix modal est une démarche permettant d'estimer l'effet observé d'un ensemble de variables indépendantes sur le choix d'un mode de transport. L'objectif du présent chapitre est de mesurer la contribution de l'ajout d'une variable représentant l'environnement urbain, en l'occurrence le PIE, à un modèle de choix discret appliqué à la pratique de la marche. Différents ensembles de déplacements sont utilisés afin d'identifier le modèle offrant la meilleure estimation du choix de la marche, ainsi que la variation de la performance de l'indicateur, selon le bassin de compétitivité employé. Deux calculs sont d'abord employés afin d'établir l'appartenance d'un déplacement au bassin de compétitivité de la marche: un calcul agrégé, qui tient compte de la longueur du déplacement seulement et un calcul détaillé, qui tient aussi compte des caractéristiques sociodémographiques de l'individu, de la structure de la chaîne de déplacements ainsi que du motif du déplacement visé. Une série de modèles segmentés selon le motif du déplacement est ensuite élaborée à la section.

#### 2.1.6.1 Modélisation du choix de la marche pour un déplacement court – Segmentation selon le bassin de compétitivité

Afin d'étudier la contribution de l'ajout du PIE à la modélisation du choix de la marche pour effectuer un déplacement court, une série de modèles de choix modal est élaborée. Deux bassins de compétitivité de la marche sont employés pour déterminer la distance maximale des déplacements à modéliser : un bassin de compétitivité général (1,3 km ou moins) et un bassin de compétitivité déterminé par des distances variant selon l'âge et le genre (voir Morency, Demers, and Poliquin (2014)). Deux modèles distincts (régressions logistiques binaires) sont donc estimés pour chaque bassin de compétitivité : un modèle incluant seulement les variables de contrôle et un modèle incluant le PIE. Les variables de contrôles sont les suivantes : le nombre d'individus dans le ménage, le taux d'accès à l'automobile des membres du ménage, la zone de domicile (selon découpage en 8 régions de l'Enquête OD 2013), le genre de l'individu, son âge, la longueur

du déplacement, la complexité de la chaîne de déplacements et la présence d'une autoroute à proximité de l'origine du déplacement.

L'analyse permet de constater que les modèles incluant le PIE sont plus performants (ajustement statistique, précision des prédictions) que ceux qui incluent seulement les variables de contrôle. Cela confirme la pertinence du PIE comme un outil de modélisation de la demande piétonne.

#### 2.1.6.2 *Segmentation selon le motif*

Afin de déterminer si le motif du déplacement vient modérer l'impact de l'environnement urbain sur le choix de la marche pour effectuer un déplacement court, la base de données de déplacements est par la suite segmentée en 4 sous-ensembles : les déplacements à motif travail, études, magasinage et loisir. Un modèle de choix modal (régression logistique binaire) est ensuite élaboré pour chaque sous-ensemble.

Les résultats de cette démarche de modélisation basée sur le motif de déplacement permettent d'observer que la marchabilité de l'environnement urbain reste un facteur déterminant du choix de la marche pour effectuer un déplacement court, peu importe le motif du déplacement. Toutefois, cet effet n'est pas égal selon le motif. Les individus effectuant des déplacements contraints (motifs travail et études) seraient ainsi moins sensibles à la marchabilité de leur milieu de vie que les individus effectuant un déplacement non-contraint (motifs magasinage et loisir).

#### 2.1.7 *Modélisation de la demande piétonne selon différentes unités spatiales et comparaison de la performance de divers indicateurs de marchabilité*

En plus du bassin de déplacements considéré, l'unité spatiale de recherche employée pour construire un indicateur de marchabilité est cruciale dans la maximisation de sa capacité à expliquer le choix de la marche. Dans la présente section, une série de modèles est élaborée afin de comprendre l'effet des différentes formulations du PIE présentées au chapitre 5 sur le pouvoir explicatif de l'indicateur dans un contexte de modélisation. Le modèle comprenant la formulation offrant les meilleures performances explicatives et prédictives est ensuite comparé à des modèles employant d'autres indicateurs de marchabilité, en l'occurrence le WI, l'IPP et le NDAI, afin de déterminer lequel de ces indicateurs démontre la meilleure corrélation avec la pratique de la marche et offre le meilleur ajustement statistique pour une combinaison de paramètres donnée.

##### 2.1.7.1 *Variation de l'unité spatiale de mesure*

Les paramètres de construction des indicateurs de marchabilité ont un impact sur leur aptitude à représenter l'environnement urbain et son effet sur la pratique de la marche. Le rayon à l'intérieur duquel sont comptabilisées les variables de voisinage et la partie du déplacement autour de laquelle celles-ci sont mesurées peuvent modifier considérablement l'effet modélisé de tout indicateur de marchabilité. Le cadre de modélisation du choix modal développé dans le chapitre précédent est donc développé afin d'évaluer l'effet d'une modification du rayon de recherche employé pour mesurer les variables qui constituent le PIE ainsi que du lieu de mesure du PIE relatif à chaque déplacement. La figure 7 montre les différents lieux de mesures, ou unités spatiales, évaluées.

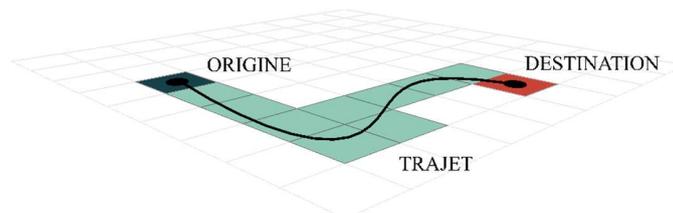


Figure 7. Unités spatiales de mesure possibles

Une série de 24 modèles de choix modal est estimée pour étudier chaque combinaison d'une variation de la taille du voisinage et de l'unité spatiale de mesure. Les résultats montrent que les modèles les mieux ajustés, donc représentant le mieux l'impact des différents paramètres, sont ceux qui sont mesurés dans un rayon plutôt élevé, entre 1 200 et 2 000 mètres, autour du trajet entier. Cela confirme l'importance de ne pas se limiter à la mesure de la marchabilité autour du domicile lorsqu'on tente de comprendre le lien entre environnement bâti et choix de la marche, ce qui est souvent le cas dans la littérature existante, mais plutôt de considérer l'ensemble du trajet.

#### 2.1.7.2 Comparaison avec d'autres indicateurs de marchabilité

L'analyse de la sensibilité du PIE dans le contexte de la modélisation de la demande piétonne permet d'évaluer la formulation de cet indicateur qui offre le meilleur ajustement statistique. Cette formulation peut ensuite être comparée à d'autres mesures éprouvées afin de déterminer si elle présente un avantage en termes de représentation de l'environnement urbain par rapport aux efforts précédents. Dans la présente section, la formulation du PIE identifiée à la section précédente est comparée, dans le cadre d'une série de modèles de choix modal, à trois mesures issues de la littérature scientifique : le *Walkability Index* (WI), l'Indice de potentiel piétonnier (IPP) et le *Neighborhood Destination Accessibility Index* (NDAI) (Frank et al., 2010; Institut national de santé publique du Québec, 2013; Witten, Pearce, & Day, 2011, respectivement).

Une série de 16 modèles est estimée afin d'évaluer la performance de chacune de ces mesures par rapport au PIE dans un contexte de modélisation du choix modal selon le motif du déplacement. Cette démarche permet de constater que le PIE offre des performances comparables, mais inférieures, au WI, qui est l'indicateur le plus employé dans la littérature scientifique, pour les motifs travail, études et loisir. Toutefois, le PIE surpasse tous les autres indicateurs dans la modélisation des déplacements à motif magasinage.

#### 2.1.8 Conclusion

Une revue de la littérature a permis de relever les principales variables corrélées au choix de la marche au sein de trois univers de données : les variables relatives au ménage, à l'individu et au voisinage. Les principaux indicateurs composites de marchabilité ayant été proposés depuis l'an 2000 par la communauté scientifique ont également été recensés. Cela a permis de mettre en relief la variété de mesures développées ainsi que la diversité des variables qui entrent dans leur composition, même si toutes ces mesures cherchent à représenter un seul et même objet.

Un indicateur de marchabilité innovant, le Pedestrian Index of the Environment (PIE) a par la suite été adapté au contexte de la région métropolitaine de Montréal. L'adaptation de cet indicateur à une nouvelle région métropolitaine a permis d'en valider la transférabilité, c'est-à-dire la capacité à décrire l'environnement urbain relatif à la pratique de la marche et ce, indépendamment du contexte d'application.

Une analyse descriptive des comportements de mobilité dans la région de Montréal a permis d'observer une corrélation entre la part modale de la marche et diverses variables relatives aux personnes et aux ménages. Appuyé sur ces conclusions, un processus de modélisation du choix modal a ensuite mis en relief la corrélation entre le PIE et le choix de la marche pour divers bassins de déplacements. Le processus a démontré l'utilité de l'identification des déplacements transférables à la marche pour améliorer la précision d'un modèle de choix modal. Il s'agit également de la première application d'un tel modèle à l'échelle de la région métropolitaine de Montréal à l'aide d'une base de données de déplacements désagrégée.

Diverses formulations du PIE, développées lors des tests de sensibilité, ont par la suite été intégrées dans une série de modèles de choix modal afin d'identifier la formulation démontrant la plus grande corrélation avec la pratique de la marche. La valeur moyenne des indicateurs à l'origine et à la destination des déplacements ainsi qu'au long de l'itinéraire modélisé se sont avérées être les deux méthodes de mesure permettant la plus grande adéquation statistique des modèles de choix modal. Un rayon de recherche de 2 kilomètres est ressorti comme étant le plus adapté à la représentation du voisinage.

Finalement, la formulation du PIE offrant le meilleur ajustement statistique a été comparée avec une sélection d'indicateurs identifiés lors de la revue de littérature dans une nouvelle série de modèles de choix modal. Par rapport au WI, à l'IPP et au NDAI, le PIE constitue une méthode efficace pour représenter l'environnement urbain à des fins de modélisation des déplacements à pied. Le PIE offre une performance comparable ou supérieure aux autres mesures utilisées dans les modèles en ce qui concerne les déplacements à motif travail et magasinage, tandis que la mesure la plus populaire dans la littérature, le WI, s'avère la plus performante pour les autres motifs.

La formulation d'indicateurs de marchabilité et leur application dans un contexte de modélisation des déplacements à pied ne constituent pas une innovation dans la littérature portant sur les liens entre environnement urbain et mobilité. Toutefois, plusieurs des indicateurs employés dans ce domaine de recherche sont caractérisés par une construction très simple – addition des cotes Z des variables, par exemple – et des paramètres fixés arbitrairement – pondération des variables, dimensions de l'unité spatiale de mesure. L'emploi d'un indicateur innovant, en l'occurrence le PIE, et les tests de sensibilité réalisés sur celui-ci permettent de contribuer à l'élaboration de nouvelles mesures plus précises et plus cohérentes de la marchabilité, assises sur des bases conceptuelles davantage liées à l'univers de la marche – décroissance de l'attractivité des opportunités, prise en compte du confort des infrastructures, etc.

## 2.2 Une enquête en ligne pour comprendre les choix d'itinéraires

- Par : Hamzeh Halizadeh, doctorant
- Fin prévue: avril 2018
- Supervision : Pr Nicolas Saunier, Pr Catherine Morency et Pr Bilal Farooq
- Source : Alizadeh, H., Bourbonnais, P.-L., Morency, C., Farooq, B., Saunier, N. (2017). An online survey to enhance the understanding of car drivers route choices, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.

Ce document est composé en majeure partie d'extraits de la thèse de Hamzeh Alizadeh intitulée « Behavioural Considerations in Route Choice Modelling ».

### 2.2.1 Introduction

Cette section présente une partie des travaux associés à la recherche sur la modélisation du choix des itinéraires routiers. Plusieurs contributions sont associées à cette recherche et cette année, les travaux ont principalement porté sur le déploiement d'une enquête visant à recueillir des données sur le trajet choisi pour un déplacement fréquent mais aussi des données sur les trajets alternatifs considérés ainsi que les facteurs qui affectent le choix d'un itinéraire.

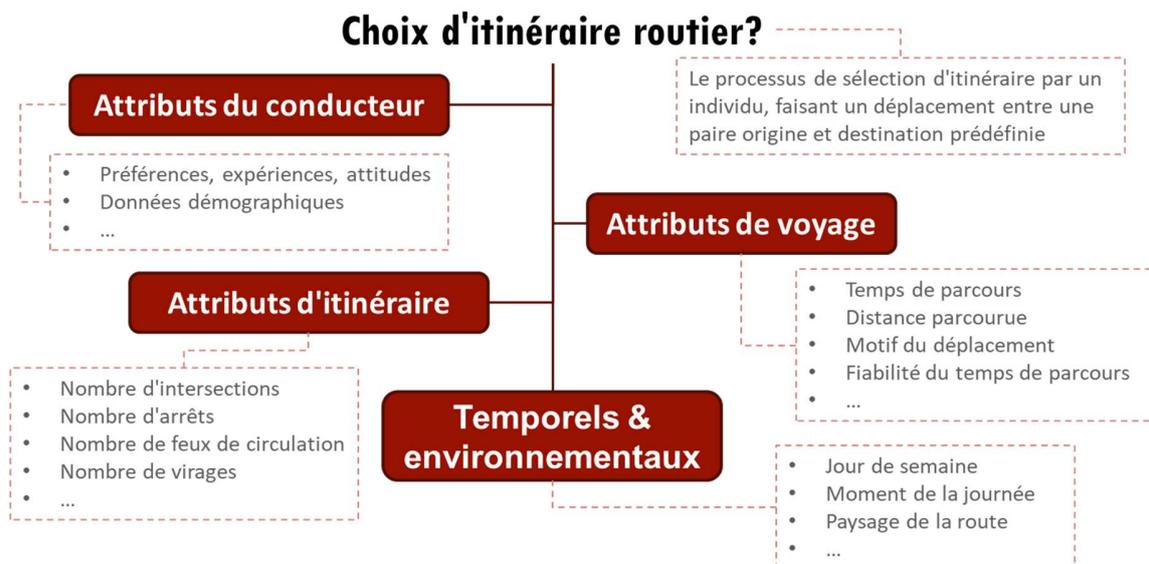


Figure 8. Principales classes de variables ayant une incidence sur le choix des itinéraires routiers

#### 2.2.1.1 Motivations

La modélisation des itinéraires routiers est une tâche importante dans le processus de prévision de la demande de transport et d'évaluation des impacts de différents scénarios d'offre. Le choix de développer une enquête pour recueillir des données sur les itinéraires considérés et les itinéraires choisis est motivé par le fait que les autres sources de données se frappent à certaines limitations :

- D'un côté, les données de carnet de déplacement (ou d'enquête Origine-Destination) souffrent souvent du problème de sous-déclaration de déplacements et le recours à des répondants proxy réduit la fiabilité des données relatives aux trajets empruntés (qui sont par ailleurs rarement recueillies) ;
- De l'autre côté, les données GPS ne permettent d'observer que l'itinéraire effectivement choisi et sont typiquement pauvres en information relative au voyageur ;

en outre, la taille des fichiers et souvent considérée comme un frein à leur usage tout comme les pertes de signaux.

#### 2.2.1.2 Objectifs

Cette étude propose un cadre de collecte de données, adapté pour les études sur les choix d'itinéraires routiers, afin de recueillir des informations concernant:

- Les facteurs importants affectant les choix d'itinéraires des conducteurs, par exemple : nombre de virages, feux de circulation, sécurité routière, etc.
- Les caractéristiques sociodémographiques et socio-économiques des répondants, par exemple : âge, genre, niveau de scolarité, etc.
- Les expériences, les attitudes et les préférences des conducteurs, par exemple expérience de conduite, familiarité avec le réseau routier, attitudes personnelles, etc.
- Les alternatives considérées par les conducteurs.

#### 2.2.2 Enquête en ligne

Une enquête sur plateforme web a été déployée afin de documenter le mécanisme de choix d'un itinéraire routier.

L'interface d'accueil de l'enquête est présentée à la Figure 9.



English

**étude mobilité**  
ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION  
Itinéraires 2017

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche qui vise à améliorer la compréhension des mécanismes du choix d'itinéraire routier. Vous êtes invité à participer à ce projet si vous résidez et conduisez régulièrement / fréquemment dans la région métropolitaine de Montréal. Cette recherche a été lancée à travers les réseaux sociaux et tout le monde peut participer. Votre participation à cette étude prend moins de 20 minutes et fera une contribution concrète à la compréhension des choix d'itinéraires routiers dans la grande région de Montréal.

Avant de répondre aux questions, vous devez accepter les conditions énoncées dans le [formulaire d'information et de consentement](#).

J'accepte de participer

Débuter

Polytechnique Montréal remercie toutes les personnes qui acceptent de participer.

Figure 9. Interface d'accueil de l'enquête web pour la collecte de données sur les itinéraires routiers

### 2.2.2.1 Informations recueillies

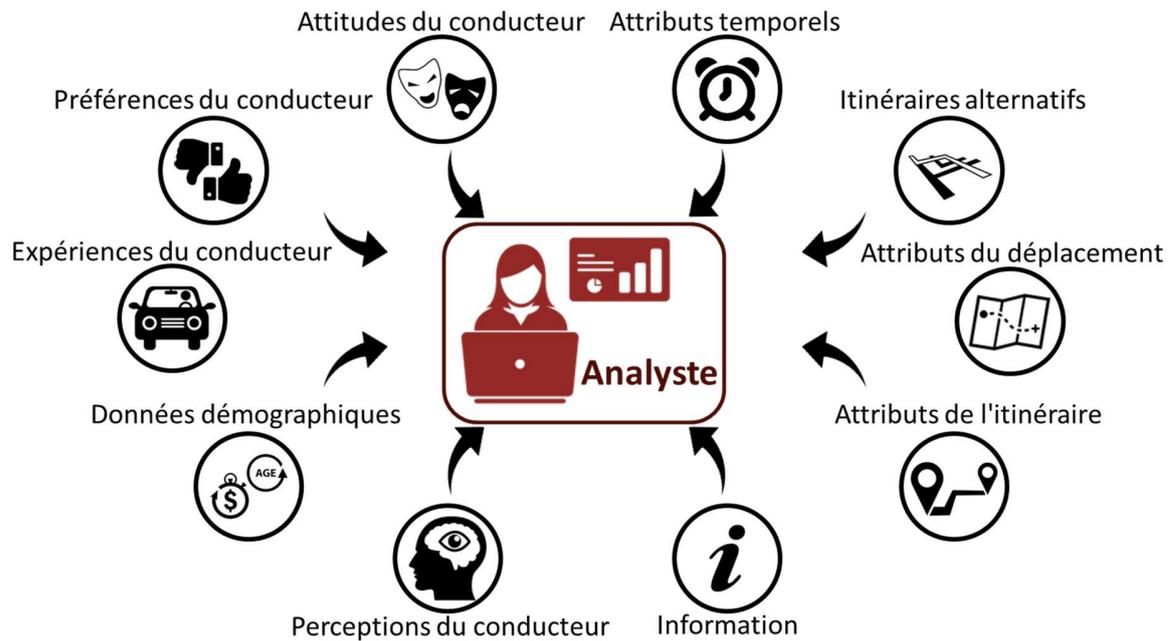


Figure 10. Principales catégories d'information recueillie auprès des répondants

L'enquête est segmentée en 6 sections différentes : Profil des répondants, Domicile, Déplacements, Itinéraires, Préférences et Fin. Les tableaux qui suivent décrivent les différentes questions disponibles dans les différentes sections; des captures d'écrans sont aussi présentées.

Tableau 3. Questions de la section Profil

ID	Type de question	Description
<i>Section: Profil</i>		
101	<b>Dichotomique</b>	Genre
102	<b>Boîte de texte / Sélection</b>	Âge / Groupe d'âge
103	<b>Sélection</b>	Éducation
104	<b>Sélection</b>	Occupation principale
105	<b>Boîte de texte</b>	Âge d'obtention du permis de conduire
106	<b>Dichotomique</b>	Si question ID 104 = "Travailleur" → Travaille fréquemment sur la route?
107	<b>Dichotomique</b>	Si question ID 104 = "Travailleur" → Travaille fréquemment à la maison?
108	<b>Dichotomique</b>	Si question ID 104 = "Travailleur" or "Étudiant" → Heure d'arrivée flexible?
109	<b>Sélection</b>	Vie à Montréal depuis combien de temps
110	<b>Bande défilante</b>	Familiarité avec le réseau routier montréalais

Tableau 4. Questions de la section Domicile

ID	Type de question	Description
<i>Deuxième section: Domicile</i>		
201	<b>Boîte de texte</b>	Code postal
202	<b>Boîte de texte</b>	Numéro d'appartement (optionnel)
203	<b>Boîte de texte</b>	Adresse
204	<b>Boîte de texte</b>	Ville
205	<b>Carte</b>	Lieu de résidence
206	<b>Boîte de texte</b>	Taille du ménage
207	<b>Boîte de texte</b>	Nombre de véhicules possédés
208	<b>Sélection</b>	Durée d'habitation à la même adresse
209	<b>Bande défilante</b>	Familiarité avec le réseau routier dans le voisinage du domicile

Tableau 5. Questions de la section Déplacements

<i>Troisième Section: Déplacements</i>		
301	<b>Carte</b>	Lieu de destination
302	<b>Bande défilante</b>	Familiarité avec le réseau routier dans le voisinage du lieu de destination
303	<b>Dichotomique</b>	Est-ce que l'origine est le domicile?
304	<b>Carte</b>	Si question ID 303 = "Non" → Identifier le point d'origine
305	<b>Bande défilante</b>	Familiarité avec le réseau routier dans le voisinage de l'origine spécifiée
306	<b>Sélection</b>	Motif du déplacement
307	<b>Boîte de texte</b>	Fréquence de conduite (automobile) pour ce déplacement (par semaine)
308	<b>Sélection multiple</b>	Pourquoi choisir l'automobile pour ce déplacement?
309	<b>Sélection multiple</b>	Facteurs qui affectent le choix du trajet vers cette destination

Figure 11. Écran relatif à la section Profil

Les trajets alternatifs sont spécifiés dans la 4<sup>e</sup> section (Itinéraires). D’abord, un itinéraire reliant les deux extrémités est automatiquement proposé sur une carte pour fins de modification ou validation. Le répondant est invité à modifier cet itinéraire afin de le faire correspondre à celui qu’il utilise. Chaque fois qu’un répondant déplace l’itinéraire, un nouveau point de repère est créé. Un minimum de trois points de repère est requis pour valider un itinéraire. La Figure 12 illustre deux itinéraires définis pour la même paire Origine-Destination.

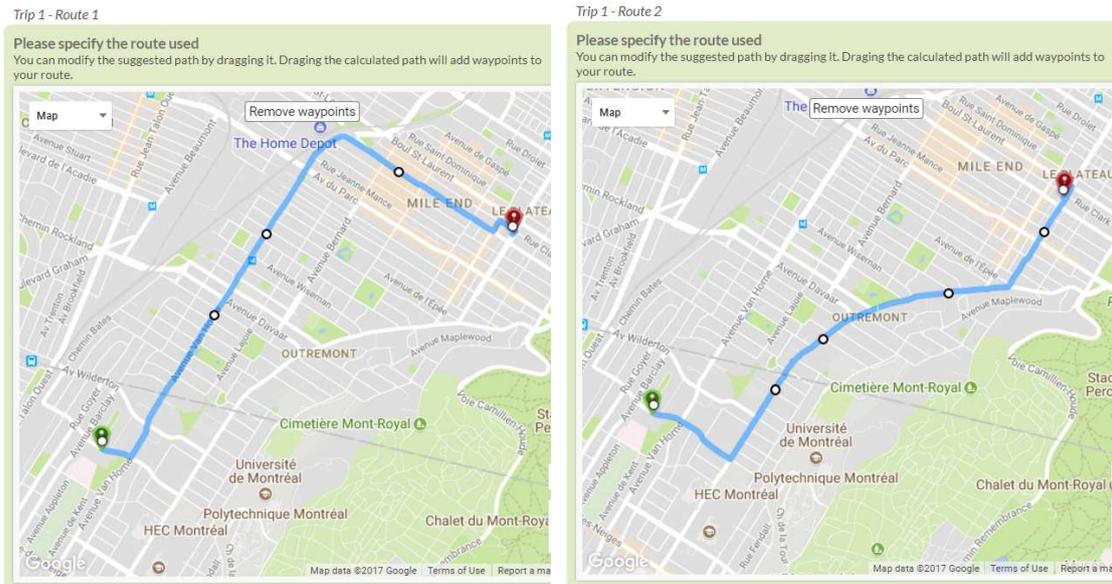


Figure 12. Spécification de deux trajets alternatifs

La spécification de ces itinéraires est suivie de différentes questions visant à rassembler plus de détails sur leurs propriétés (voir Tableau 6). Premièrement, les répondants doivent indiquer à quelle fréquence ils utilisent les différentes alternatives à l'aide d'une échelle de Likert, allant de rarement à fréquemment. Ensuite, les fournissent de l'information concernant les jours (semaine / fin de semaine) et les heures typiques de déplacement. Ils indiquent aussi l'importance de l'habitude et des conditions météorologiques sur le choix de cet itinéraire. Par ailleurs, les répondants sont appelés à identifier leurs arrêts réguliers, si applicables, sur une carte et à identifier les montants payés en péage, si applicable. Finalement, la perception des conducteurs concernant les propriétés des différentes alternatives déclarées est évaluée à l'aide de différents facteurs tels que le temps de déplacement et sa fiabilité, la sécurité, le niveau de congestion, le paysage, la qualité de la chaussée et le nombre de feux de circulation.

Tableau 6. Liste des questions de la section Itinéraires

ID	Type de question	Description
401	<b>Carte</b>	Spécification d'un itinéraire
402	<b>Barre de défilement</b>	Fréquence d'utilisation de l'itinéraire déclaré
403	<b>Sélection</b>	Semaine / Fin de semaine
404	<b>Sélection</b>	Heure de départ
405	<b>Boîte de texte</b>	Temps de déplacement perçu
406	<b>Sélection multiple</b>	Impacts des conditions météorologiques
407	<b>Dichotomique</b>	Usage d'un péage?
408	<b>Boîte de texte</b>	Si question ID 407 = "Oui" → Montant du péage
409	<b>Barre de défilement</b>	Perception de sécurité
410	<b>Barre de défilement</b>	Perception de paysage
411	<b>Barre de défilement</b>	Perception de la fiabilité du temps de déplacement
412	<b>Barre de défilement</b>	Perception de la qualité de la chaussée
413	<b>Barre de défilement</b>	Perception de la congestion
414	<b>Sélection</b>	Perception du nombre de feux de circulation
415	<b>Barre de défilement</b>	Rôle de l'habitude dans le choix de cet itinéraire
416	<b>Dichotomique</b>	Arrêt régulier?
417	<b>Carte</b>	Si question ID 416 = "Oui" → Identification de l'arrêt régulier

La cinquième section de l'enquête, Préférences, porte sur les variables comportementales et attitudinales qui affectent les comportements de choix d'itinéraires. Une liste d'énoncé est proposée aux répondants qui doivent indiquer leur niveau d'accord ou désaccord avec chacun à l'aide d'une échelle de Likert à cinq niveaux. Ces énoncés sont basés sur des indicateurs psychométriques et sur certaines hypothèses comportementales. Le Tableau 7 présente 22 énoncés inclus dans l'enquête.

L'enquête se termine avec quelques questions optionnelles (section Fin) – voir Tableau 8.

Un projet pilote d'enquête a été réalisé auprès des étudiants d'études supérieures de génie des transports de Polytechnique en février 2017 et la version révisée a été lancée en mars 2017; la collecte s'est déroulée sur une période de trois mois.

Tableau 7. Liste d'énoncés de la section Préférences

ID	Énoncé
501	Quand j'ai accès aux autoroutes, je préfère les emprunter pour conduire jusqu'à ma destination.
502	Je préfère prendre les routes locales pour conduire jusqu'à ma destination, même si j'ai accès aux autoroutes.
503	La qualité de la chaussée est un facteur important dans mon choix d'itinéraire.
504	Je cherche toujours les raccourcis pour minimiser la distance parcourue.
505	Je cherche toujours à éviter les feux de circulation.
506	La raison principale de mon choix d'itinéraire est de minimiser le temps de parcours.
507	Je préfère emprunter un chemin fluide mais long qu'un chemin court mais congestionné.
508	J'ai tendance à toujours prendre le même itinéraire.
509	J'ai tendance à essayer de nouveaux itinéraires.
510	J'ai tendance à éviter les routes avec des voies étroites.
511	Je préfère emprunter des routes avec des limites de vitesse plus élevées.
512	Je ne suis pas confortable à conduire côte-à-côte avec des camions et j'essaie de les éviter.
513	Je préfère choisir un itinéraire avec un paysage plus agréable, même si cela prend plus de temps.
514	Je préfère emprunter des routes à péage, car elles sont moins congestionnées et beaucoup plus rapides.
515	Je me renseigne sur les chantiers de construction pour les éviter.
516	J'ai tendance à éviter les virages et prendre la route la plus directe.
517	J'ai un bon sens de l'orientation et je peux facilement trouver mon chemin sur le réseau routier.
518	Lorsqu'on me communique un incident causant de la congestion sur mon itinéraire par la radio ou par un panneau à message variable, je change mon itinéraire et je choisis une alternative pour éviter la congestion.
519	Je peux facilement me souvenir d'un itinéraire que j'ai emprunté une fois.
520	J'utilise des points de repère pour me souvenir d'un itinéraire que j'ai emprunté une fois.
521	Je préfère choisir un itinéraire avec un temps de parcours plus fiable, même si ça me prend plus de temps.
522	Je prends l'itinéraire suggéré par Google Maps (ou d'autres planificateurs d'itinéraires).

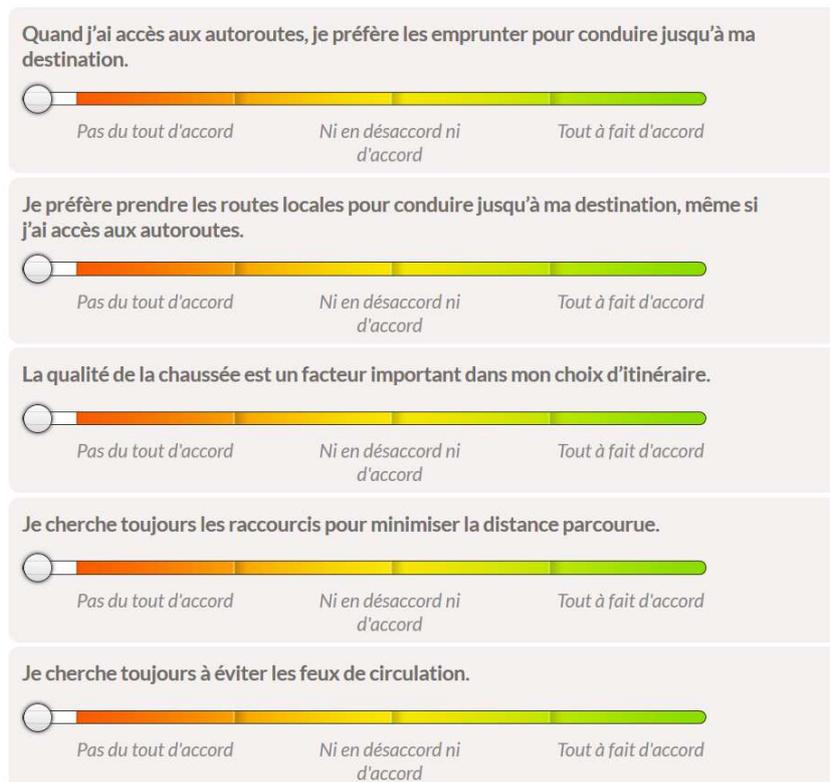


Figure 13. Extrait d'énoncés de la section Préférences

Tableau 8. Liste des questions de la section Fin

ID	Type de question	Description
601	<b>Sélection</b>	Revenus bruts du ménage
A	<b>Dichotomique</b>	Aimerait participer à d'autres enquêtes sur la mobilité
603	<b>Boîte de texte</b>	Si question ID 602 = "Oui" → saisir de l'adresse courriel
604	<b>Boîte de texte</b>	Commentaires généraux sur l'enquête

### 2.2.3 Résultats de l'enquête

Les sections qui suivent présentent quelques résultats.

#### 2.2.3.1 Recrutement et composition de l'échantillon

La Figure 14 présente le nombre d'entrevues complétées à travers la période d'enquête ainsi que les différentes méthodes de recrutement.

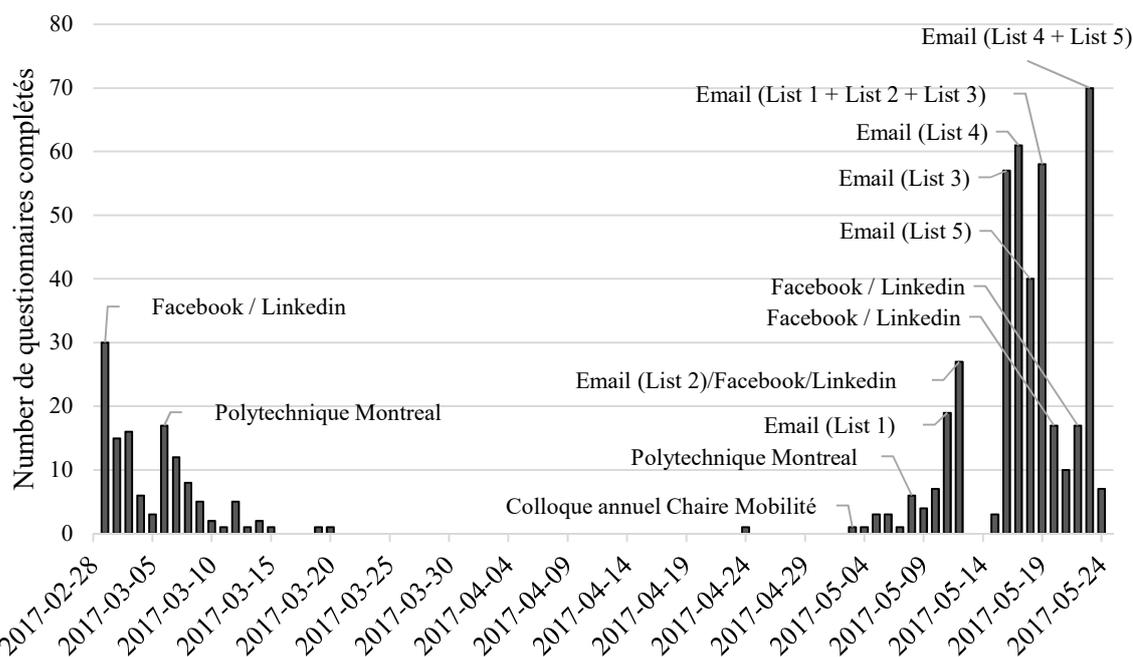


Figure 14. Méthode de recrutement et nombre de réponses pendant la durée de la période d'enquête

Le Tableau 9 présente des statistiques relatives au recrutement de répondants via la liste de courriels de la Chaire Mobilité ainsi que les nombres associés à chaque phase du recrutement par mode électronique. On observe que les taux de clics sont tout de même assez convaincants.

Tableau 9. Courriels d'invitation transmis à la banque de courriels de la Chaire Mobilité

Date	Heure de la journée	Nom de liste	Envoyés	Transmis	Ouverts	Cliqués
<i>Courriel d'invitation</i>						
11-Mai	9:00 AM	List 1	500	433 (86.6 %)	170 (34.0 %)	35 (7.0 %)
12-Mai	9:00 AM	List 2	500	478 (95.6 %)	260 (52.0 %)	63 (12.6 %)
16-Mai	9:00 AM	List 3	1000	959 (95.9 %)	528 (52.8 %)	140 (14.0 %)
17-Mai	10:00 AM	List 4	1000	952 (95.2 %)	424 (42.4 %)	136 (13.6 %)
18-Mai	10:00 AM	List 5	1000	955 (95.5 %)	422 (42.2 %)	132 (13.2 %)
<i>Courriel de rappel</i>						
19-Mai	11:00 AM	List 1+ List 2	911	903 (99.2 %)	457 (50.2 %)	100 (11.0 %)
19-Mai	11:00 AM	List 3	959	952 (99.3 %)	518 (54.1 %)	102 (10.7 %)
23-Mai	9:00 AM	List 4	952	942 (99.0 %)	369 (38.8 %)	105 (11.1 %)
23-Mai	9:00 AM	List 5	955	929 (97.3 %)	366 (38.4 %)	98 (10.3 %)

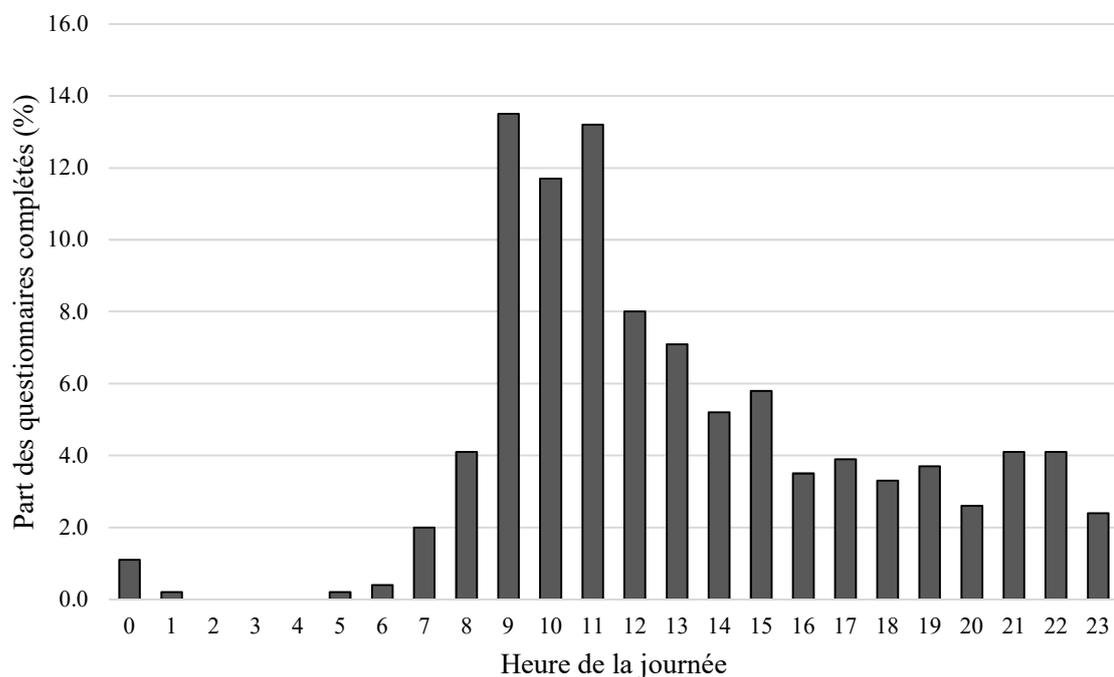


Figure 15. Pourcentage de questionnaires complétés à chaque heure de la journée pour la durée complète d'enquête

### 2.2.3.2 Propriétés des répondants

Le tableau qui suit présente les principales statistiques descriptives des répondants à l'enquête.

Tableau 10. Propriétés des répondants

Variable	Catégories	N	%	Variable	Catégories	N	%
<i>Genre</i>				<i>Taille du ménage</i>			
	Homme	306	56.7		1	100	18.5
	Femme	234	43.3		2	218	40.4
<i>Age</i>					3	101	18.7
	Jeune (15 à 39 ans)	306	56.7		4	88	16.3
	Âge moyen (40 à 59 ans)	195	36.1		+5	33	6.1
	Âgé (60 ans et plus)	39	7.2	<i>Revenus (Milliers CAD per capita)</i>			
<i>Occupation</i>					< 30	152	28.2
	Travailleur temps plein	393	72.8		> 30 and < 60	202	37.4
	Travailleur temps partiel	38	7.0		> 60 and < 90	75	13.9
	Étudiant	69	12.8		> 90 and < 120	12	2.2
	Retraité	25	4.6		Refus	99	18.3
	À la maison	6	1.1	<i>Nombre de véhicules</i>			
	Autre	9	1.7		0	122	22.6
<i>Éducation</i>					1	290	53.7
	Aucune	0	0.0		2	106	19.6
	< diplôme universitaire	62	11.5		+3	22	4.1
	Diplôme universitaire	472	87.4				
	Autre	6	1.1				

### 2.2.3.3 Comportements de réponse

Les graphiques qui suivent proposent différentes statistiques relatives aux comportements de réponse : durée requise pour remplir le questionnaire, durée relative aux différentes questions,

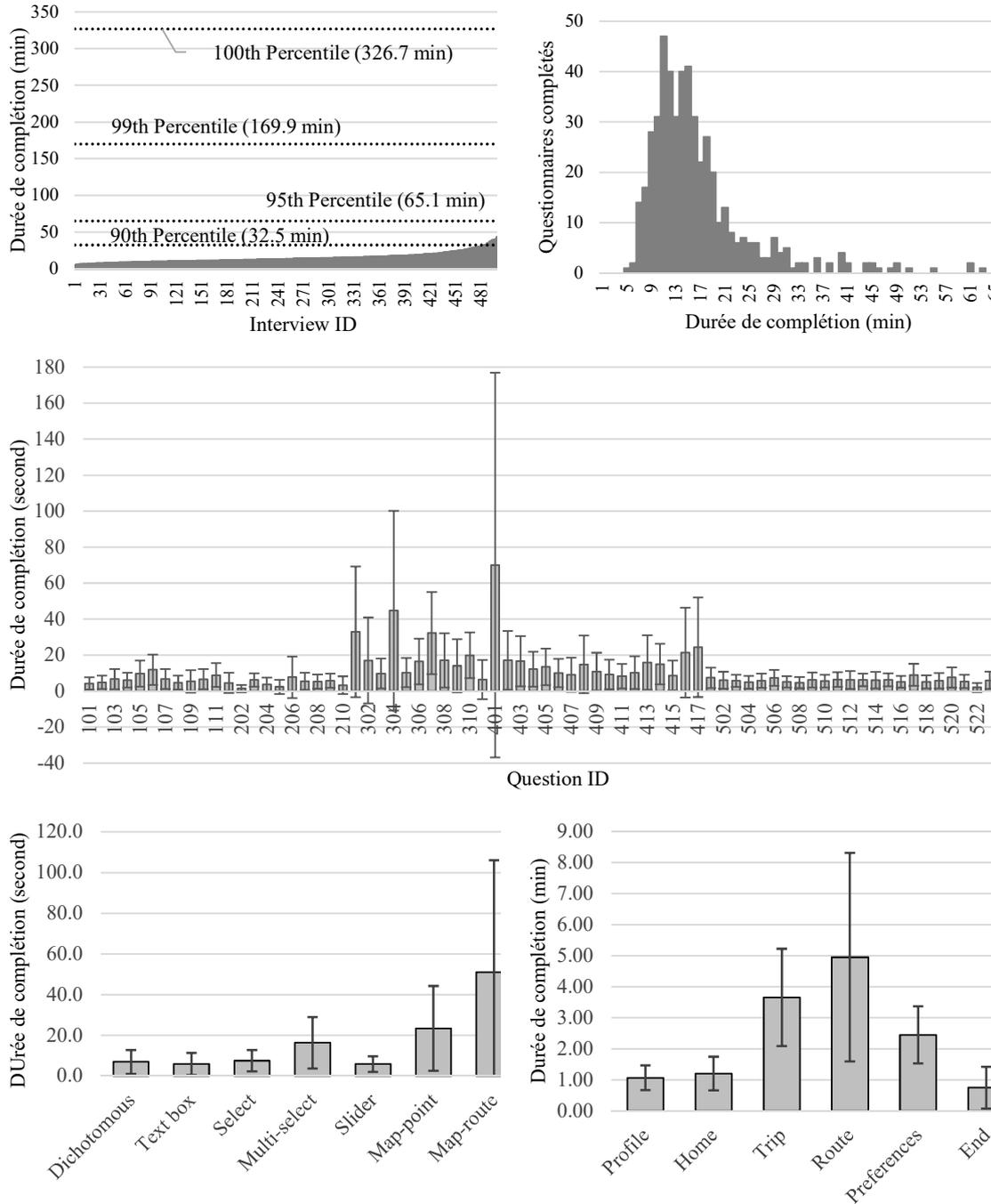


Figure 16. Distribution de différents indicateurs associés aux comportements de réponse

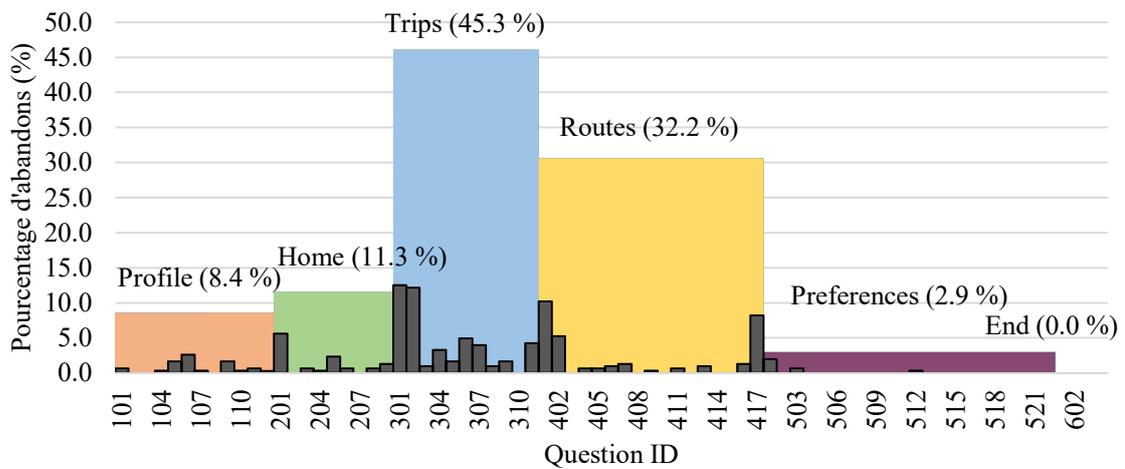


Figure 17. Suivi des abandons en cours d'enquête

#### 2.2.4 Conclusion

L'utilisation croissante de modèles avancés de choix, reflétant la stochasticité des préférences individuelles et la nature complexe du processus de décision exige de recourir à des méthodes de collecte de données plus raffinées mais n'augmentant pas indûment le fardeau du répondant. Ce texte a décrit le développement d'une enquête visant à documenter le choix des itinéraires routiers et à identifier les facteurs importants dans ce processus de choix.

## 2.3 Analyse d'un an de données de cartes à puce

- Par : Élodie Deschaintres
- Fin prévue : août 2018
- Supervision : Pre Catherine Morency / Pr Martin Trépanier
- Contexte : Chaire Mobilité / CRC Mobilité des personnes

Cette section est composée de travaux en cours qui pourront se retrouver dans le mémoire d'Élodie Deschaintres.

### 2.3.1 Introduction

Cette section propose l'utilisation de méthodes d'exploration de données pour analyser l'utilisation du transport en commun à Montréal au cours de l'année 2016. Une analyse descriptive ainsi que différentes visualisations des données sont d'abord produites pour caractériser différents patrons comportementaux. Des méthodes de classification permettent ensuite d'identifier des groupes types de cartes. Une typologie de cartes à puce est ainsi déduite sur la base de l'utilisation annuelle observée. Ceci permet de mettre en évidence des tendances globales ainsi que d'analyser la variabilité d'utilisation du transport en commun.

### 2.3.2 Méthodologie générale

#### 2.3.2.1 Données

Les données utilisées dans cette recherche proviennent de la base de données transactionnelles de la STM. Elles couvrent une période d'un an, de janvier à décembre 2016, et contiennent 481 750 084 validations d'accès au réseau de bus et métro. Parmi ces validations, 89% ont été réalisées par 1 984 040 cartes OPUS différentes. Il est important de mentionner qu'une carte n'équivaut pas nécessairement à une personne. Plusieurs types de cartes existent dans le système de la STM : des cartes personnalisées, non-transférables, et des cartes anonymes qui peuvent être prêtées. Ces dernières peuvent donc être utilisées par différentes personnes. De plus, deux cartes peuvent être utilisées par un même passager, suite au processus de renouvellement par exemple.

Cette section porte sur l'analyse des 429 millions de transactions réalisées avec des cartes à puce. Aucun filtre n'est appliqué en amont de l'étude, ce qui signifie que toutes les cartes impliquées dans au moins une validation pendant la période d'étude sont incluses. Chaque observation contient un identifiant de validation (id), l'horodatage de la validation (heure et jour), l'information sur l'endroit où la validation a eu lieu (tourniquet de métro ou numéro de ligne, direction et identifiant d'autobus) ainsi qu'un numéro de carte anonymisé et le code produit du titre utilisé. En outre, ces informations ne sont recueillies que lors de l'embarquement (aucune validation à la sortie) : la destination n'est donc pas connue. Finalement, par souci de protection de la vie privée, aucune information personnelle sur le voyageur n'est disponible.

Puisqu'il n'est pas simple de gérer une base de données de cette taille, les activités (validations) des voyageurs doivent être synthétisées. Inspirée de la méthode utilisée par Morency et al. (2017) sur les données de vélopartage, des vecteurs décrivant les activités annuelles de chaque carte sont construits. Ainsi, chaque enregistrement décrit l'utilisation annuelle du système TC de chaque carte; le résultat est une table de 1 984 040 enregistrements.

Le tableau qui suit présente un extrait de la base de données, avant (a) et après (b) normalisation. Chaque vecteur comprend une variable décrivant l'intensité annuelle d'utilisation (i.e. le nombre total de transactions faites avec la carte pendant l'année) ainsi que la répartition mensuelle des validations à travers l'année via 12 variables (i.e. nombre de transactions faites à chaque mois). Ceci se traduit donc par un vecteur contenant treize variables continues. Pour assurer que chaque

variable a le même poids dans le processus de classification, la variable d'intensité annuelle est normalisée en divisant le nombre total de validations annuelles par l'écart interquartile multiplié par 1.5. De même, les usages absolus mensuels sont transformés en proportions des validations annuelles.

Tableau 11. Extraits de la base de données de cartes-années a) avant la normalisation et b) après la normalisation

a)

Card_id	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total année
i	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ii	4	1	10	6	23	22	17	23	17	28	17	8	176
iii	48	86	75	86	50	29	44	15	0	0	0	0	433
iv	0	0	0	55	0	0	0	0	0	32	0	0	87
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



$$\text{Mois } x \leftarrow \frac{\text{Mois } x}{\text{Total année}}$$

$$\text{Total année} \leftarrow \frac{\text{Total année}}{1.5 * \text{Écart interquartile}}$$

b)

Card_id	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total année
i	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
ii	0.023	0.006	0.057	0.034	0.131	0.125	0.097	0.131	0.097	0.159	0.097	0.045	0.425
iii	0.111	0.199	0.173	0.199	0.115	0.067	0.102	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	1.046
iv	0.000	0.000	0.000	0.632	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.368	0.000	0.000	0.210
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

En plus de cette base de données principale utilisée comme intrant dans le processus de classification, une seconde base de données est construite pour analyser de façon combinée les données de validation et de produits tarifaires. Comme plusieurs produits tarifaires peuvent apparaître sur une même carte pendant l'année, une base de données contenant 3 450 881 cartes-produits-année est constituée, fournissant le nombre de validations associé à chaque carte\*produit. Un total de 124 produits tarifaires distincts ont été utilisés par les passagers de la STM en 2016. Ces produits sont regroupés en 6 types dans les prochaines analyses.

### 2.3.2.2 Méthode de classification

Premièrement, une analyse descriptive est conduite. Ainsi, cette section présente les principaux faits saillants des données à l'aide d'indicateurs d'analyse descriptive et d'objets de visualisation. Ceci permet de mieux comprendre le contenu des données, notamment les distributions de différentes variables. Ensuite, une segmentation est réalisée afin de séparer les cartes en plusieurs

groupes présentant des comportements similaires (sur la base de leur utilisation annuelle du réseau de transport en commun). Les vecteurs exposés précédemment sont utilisés à cette fin. La méthode de classification des k-moyennes est appliquée : elle permet de séparer les vecteurs en k groupes qui minimisent la somme des écarts quadratiques intra-groupe. La méthode utilisée s'appuie plus particulièrement sur l'algorithme de Lloyd et la distance choisie est la distance euclidienne. Pour éviter d'obtenir un optimum local plutôt qu'un optimum global, ce qui est un problème typique lors de l'utilisation de l'algorithme des k-moyennes (Steinley, 2006), dix différentes initialisations sont effectuées. Par ailleurs, deux critères sont utilisés pour identifier la valeur du paramètre k (i.e. le nombre de groupes à choisir). Nous regardons d'abord le pourcentage de la variance expliquée en fonction du nombre de groupes : le paramètre k à choisir est celui qui se situe dans le coude du graphique. Le second test appliqué est la méthode en deux étapes proposée par Morency et al. (2017) qui consiste à produire 30 groupes avec une approche par k-moyennes, puis à dessiner un dendrogramme sur la base des 30 centres moyens obtenus à l'étape précédente.

### 2.3.3 Résultats

Les principaux résultats obtenus sont présentés ci-dessous.

#### 2.3.3.1 Analyse descriptive

Différentes représentations accompagnent l'analyse descriptive. Le premier graphique (Figure 18) présente la distribution fréquentielle du nombre total de transactions par carte-année. L'histogramme gris de ce graphique correspond à la distribution fréquentielle des 1 984 040 cartes-année. Il révèle qu'environ 50% de toutes ces cartes-année font moins de 100 transactions par année, ce qui signifie qu'une proportion importante des cartes n'ont pas un usage très intensif. Cependant, à l'autre bout de la distribution, environ 15% des cartes-année font plus de 500 validations par année. Parmi celles-ci, 22% (donc 3% des cartes-année totales) sont utilisées pour faire plus de 1000 validations par année. Considérant qu'il y a eu 252 jours ouvrables en 2006, cela correspond à un taux d'utilisation très important avec en moyenne 4 validations par jour ouvrable.

Dans la même figure, les lignes colorées représentent les distributions fréquentielles des cartes-année selon le nombre de mois pendant lesquels les cartes ont été actives. Une carte est dite active si elle a été utilisée au moins une fois pendant le mois à l'étude. On observe que les cartes ayant un faible nombre de mois actifs sont largement distribuées à gauche du graphique et que ce constat est inversé à l'autre extrémité du graphique. Ceci suggère, tel qu'attendu, que plus le nombre de mois actifs est élevé, plus l'utilisation annuelle de la carte sera importante.

La Figure 19 présente la distribution fréquentielle du nombre de transactions par carte-produit-année pour six types de produits tarifaires. Les billets, passes quotidiennes et hebdomadaires sont principalement utilisés pour faire moins de 100 transactions par année. Au contraire, la majorité des détenteurs d'abonnements mensuels et annuels font plus de 100 transactions par année.

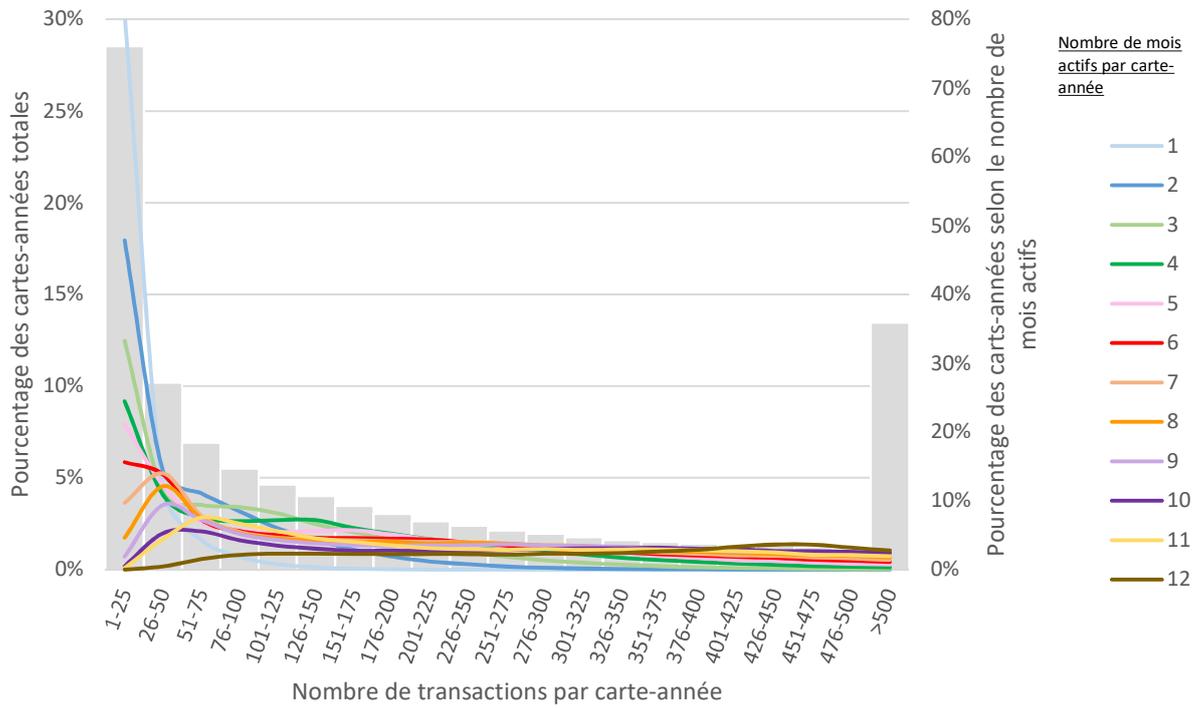


Figure 18. Distribution fréquentielle du nombre total de transactions par carte-année

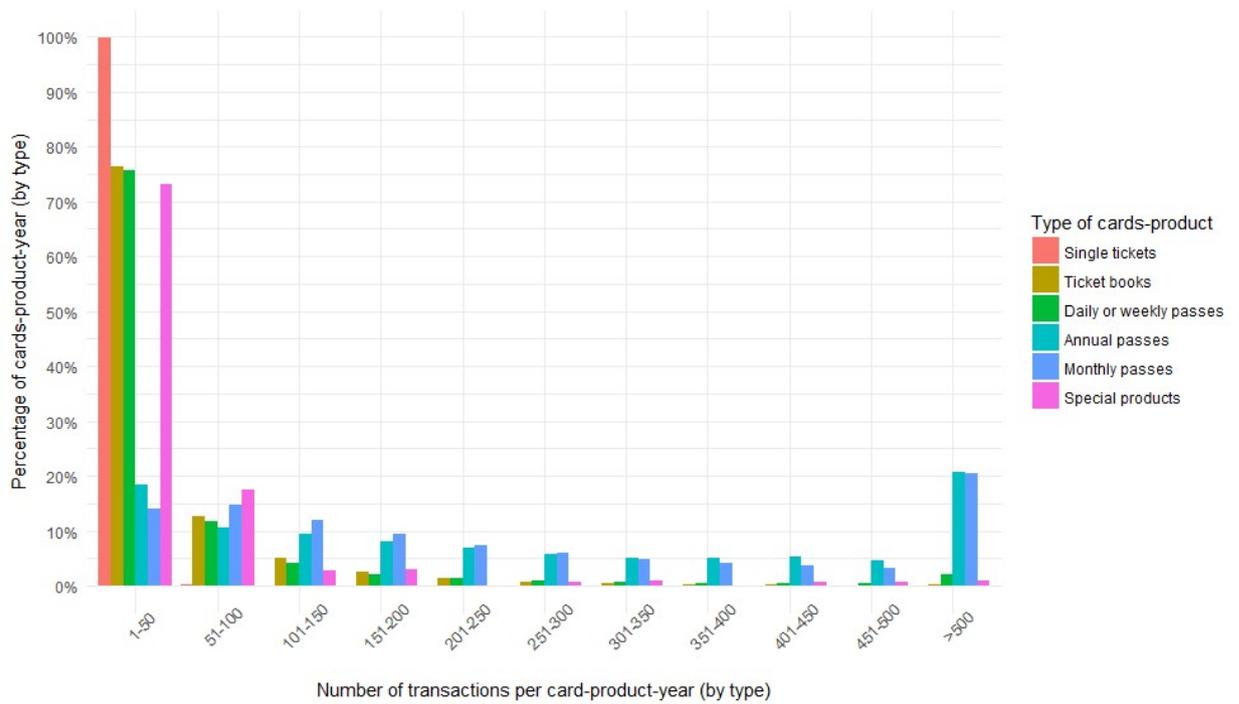


Figure 19. Distribution fréquentielle du nombre de transactions par carte-produit-année, par type de produit

### 2.3.3.2 Typologie de cartes

La méthode de classification décrite précédemment est utilisée pour créer des groupes similaires. La Figure 20 présente les deux méthodes utilisées pour choisir le nombre k approprié de groupes.

D'une part, la figure (a) montre que le pourcentage de variance expliquée ne s'améliore pas beaucoup après 4 groupes : c'est le nombre minimum de groupes à choisir. D'autre part, le dendrogramme (b) montre une meilleure granularité avec 6 groupes. Les 30 centres obtenus préalablement avec l'algorithme des k-moyennes sont d'abord séparés en deux principaux groupes sur la base de l'intensité annuelle d'utilisation : les cartes à faible intensité d'utilisation (intensité annuelle normalisée <2) se retrouvent à gauche du graphique alors que les cartes à forte intensité d'utilisation (intensité annuelle normalisée >2) sont à droite. Nous choisissons k = 6 groupes afin d'assurer une segmentation du groupe à faible intensité d'utilisation en plusieurs sous-groupes.

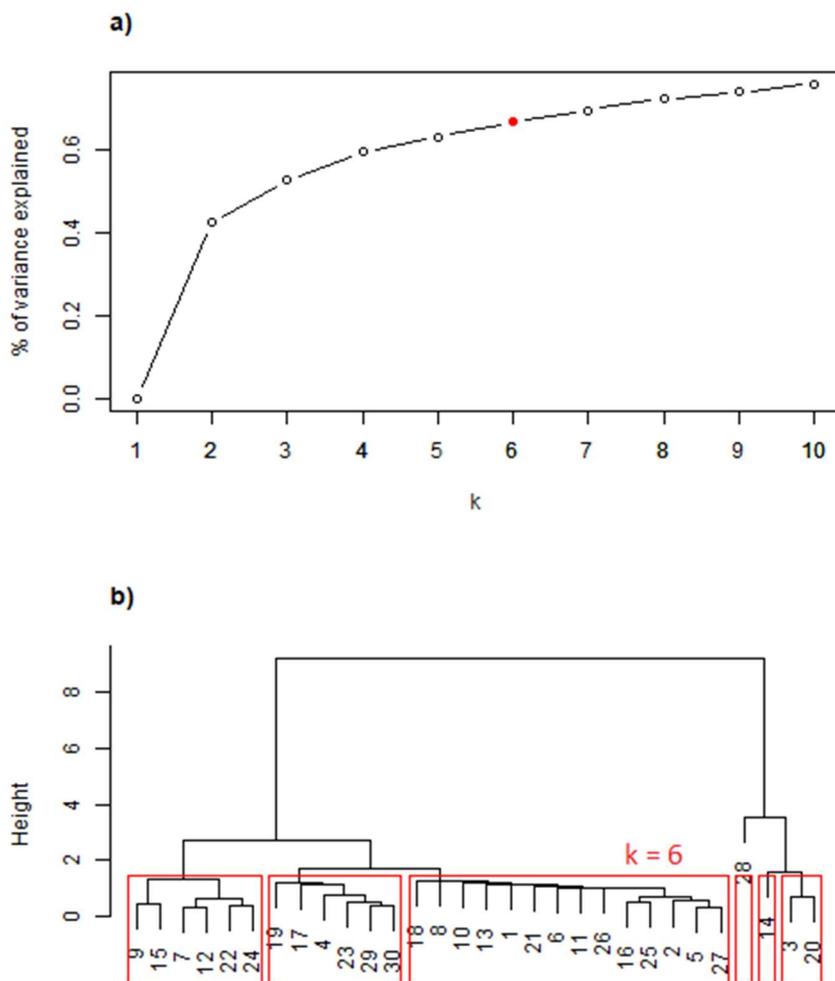


Figure 20. Choix du nombre k de clusters avec la variance expliquée (a) et le dendrogramme (b)

Les résultats de cette classification sont présentés dans le tableau ci-dessous qui fournit des informations sur la taille, l'intensité moyenne d'utilisation et la composition en produits tarifaires des 6 groupes obtenus. Ces groupes sont classés en ordre décroissant de leur intensité annuelle d'utilisation. Nous observons que C1 est le plus petit groupe (2.3% des cartes-année) mais qu'il correspond à plus de 15% des transactions de 2016. C'est donc le groupe présentant le taux d'utilisation annuel le plus élevé avec une moyenne de 1396 transactions par année. Ce groupe a

aussi le nombre de mois actifs le plus élevé et la plus grande proportion de cartes actives au moins 10 mois pendant l'année. Les groupes C2 et C3 représentent, à eux deux, plus de 60% des transactions annuelles. Alors que C2 est plus petit que C3 en termes de part des cartes-année, il présente une plus forte intensité moyenne d'utilisation annuelle et une plus longue période d'activités. Les trois autres groupes ont des intensités plus faibles et des cartes actives moins de 10 mois. C6 est le groupe le plus important avec 33.7% des cartes-année mais il est aussi le groupe avec la plus faible intensité annuelle d'utilisation avec en moyenne 55 transactions par année.

Tableau 12. Synthèse des résultats de la classification

	<i>Clusters</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>TOTAL</i>
<b>Taille</b>	<b>Distribution des cartes-années</b>	2.3%	9.0%	20.0%	20.0%	14.9%	33.7%	100.0% (1,984,040)
<b>Intensité d'usage</b>	<b>Distribution des transactions</b>	15.1%	31.5%	33.4%	6.8%	4.5%	8.6%	100.0% (429,137,757)
	<b>Usage annuel moyen</b>	1396	757	361	74	65	55	216
	<b>Coefficient de variation</b>	24,4%	18,7%	27,0%	94,9%	100,8%	102,4%	137,5%
	<b>Nombre de mois actifs par carte</b>	11.3	10.3	8.4	2.5	3.5	4.8	5.5
	<b>Proportion de cartes actives chaque mois</b>	69.5%	43.8%	22.8%	0.1%	0.5%	4.5%	11.7%
	<b>Proportion de cartes actives au moins 10 mois</b>	90.6%	70.9%	41.7%	0.4%	2.7%	12.5%	21.6%
<b>Composition tarifaire*</b>	<b>% abonnements annuels</b>	7.2%	8.7%	8.1%	5.7%	4.9%	2.9%	5.6%
	<b>% abonnements mensuels</b>	51.8%	43.1%	37.2%	34.4%	24.4%	13.8%	28.4%
	<b>% carnets de tickets</b>	12.9%	20.4%	29.4%	41.1%	48.0%	57.4%	41.6%
	<b>% tarif régulier</b>	80.9%	74.8%	70.7%	56.0%	74.8%	66.7%	68.2%
	<b>% tarif réduit</b>	18.5%	24.0%	27.0%	32.8%	21.9%	29.7%	27.6%
	<b>Nombre de produits différents par carte</b>	1.72	2.01	2.16	1.45	1.59	1.66	1.74

\* En pourcentage de cartes-produits

En ce qui concerne les produits tarifaires, nous constatons que les abonnements sont principalement utilisés dans les trois premiers groupes (C1, C2, C3) alors que la proportion de billets est plus importante dans les trois autres groupes (C4, C5, C6). Le nombre moyen de produits par carte est également plus élevé dans les groupes à plus forte intensité d'utilisation : ceci peut être lié au fait que ces cartes sont observées sur une plus longue période et sont donc plus portées à l'usage de plusieurs produits à travers l'année. À titre d'exemple, les abonnements mensuels ne

sont parfois pas renouvelés pendant la période estivale et sont remplacés par des billets, induisant l'utilisation de deux titres différents pendant l'année.

Finalement, la Figure 21 présente l'intensité annuelle normalisée ainsi que la distribution mensuelle des transactions pour les 6 groupes (centres des groupes). Non seulement C1 est le groupe ayant la plus forte intensité d'utilisation, mais il est aussi celui qui présente le plus de régularité. En effet, nous voyons sur ce graphique que les validations faites par le groupe sont assez bien réparties à travers les mois, avec une faible diminution à la fin de l'année. C2 et C3 ont des distributions mensuelles assez similaires mais la diminution d'usage pendant l'été et l'hiver est davantage marquée, notamment pour C3. Alors que les cartes de C5 sont principalement utilisées au début de l'année, celles de C4 sont davantage utilisées en fin d'année et celles de C6 sont principalement actives en milieu d'année. Les utilisateurs de C4 sont peut-être de nouveaux usagers ou des individus renouvelant leur carte, par exemple des étudiants, hypothèse qui semble se confirmer par la part plus importante de tarifs réduits dans ce groupe (voir Tableau 12). Inversement, C5 pourrait contenir des usagers quittant le service ou ne l'utilisant pas pendant la saison estivale (par exemple des cyclistes), reprenant plus tard leur usage du système TC avec une nouvelle carte. Finalement, les comportements observés dans C6 peuvent être associés à des usagers occasionnels qui utilisent le transport en commun pour des motifs loisir pendant l'été ou à des visiteurs.

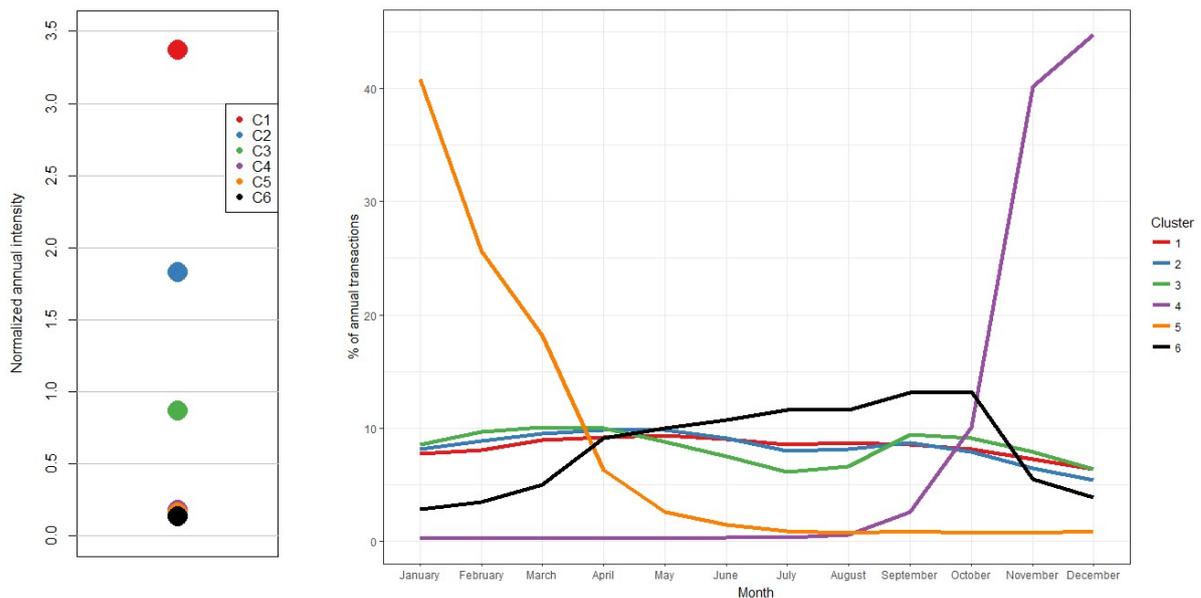


Figure 21. Intensité annuelle normalisée et répartition des transactions mensuelles des six groupes (centres)

#### 2.3.4 Conclusion

À l'aide d'une année de données de cartes à puce de la STM, cette recherche s'intéresse à l'analyse des comportements d'utilisation du transport en commun. L'analyse longitudinale conduite s'est appuyée sur l'application de méthodes de classification afin de créer des groupes de cartes-année présentant des comportements types d'utilisation. En outre, l'exploitation d'un tel ensemble de données a exigé de convertir les données en un ensemble traitable de vecteurs. Dans ce projet, nous avons choisi d'étudier les comportements sous forme de vecteurs résumant l'intensité d'utilisation annuelle ainsi que la répartition des usages sur 12 mois.

Certaines limitations doivent être mentionnées. La première est que l'analyse n'inclut que l'utilisation du système via des cartes à puce. Ainsi, certains usagers ne sont pas considérés. Ensuite, notre analyse s'est limitée à la répartition mensuelle mais il faudra aussi considérer une meilleure granularité pour comprendre la variabilité d'utilisation à travers les années. En outre, le volet spatial n'a pas été traité. La construction de vecteurs d'analyse plus complexes est requise pour approfondir les analyses ainsi que le recours à d'autres métriques de similarité.

## 2.4 Modèle de génération de déplacements en vélopartage

- Par : Mikael Chibok
- Fin prévue: août 2018
- Supervision : Pre Catherine Morency / Pr Martin Trépanier
- Contexte : Chaire Mobilité / CRSNG

Cette section est composée de travaux en cours qui pourront se retrouver dans le mémoire de Mikael Chibok.

### 2.4.1 Introduction

Cette recherche s'intéresse au système de vélopartage montréalais BIXI et vise à mieux comprendre la demande de déplacements en vélopartage ainsi que sa structure spatio-temporelle et ce, en vue de pouvoir à terme évaluer les impacts de différents scénarios d'offre. Cette section porte spécifiquement sur l'analyse de la demande et des facteurs qui ont un impact sur la demande observée aux stations. Des modèles de régression linéaire sont estimés sur la base de variables spatiales et visent à reproduire les déplacements quotidiens observés aux stations. Bien que ceci ait déjà été fait dans la littérature, cette démarche permet d'évaluer la transférabilité temporelle de tels modèles et d'évaluer la stabilité des facteurs ayant un impact sur la demande de déplacements en vélopartage à Montréal en 2011 et 2016.

#### 2.4.1.1 Objectifs

L'objectif principal de cette démarche est d'expliquer le nombre de déplacements effectués annuellement à chaque station (en 2011 et 2016). Ainsi, les déplacements sont agrégés et l'indicateur choisi est le nombre moyen de déplacements générés et attirés par chaque station. La méthodologie est expliquée sur la base des données de 2011 mais la même approche est utilisée avec les données de 2016. Il s'agit donc de calibrer des modèles de génération de déplacements et d'identifier quelles variables permettent d'expliquer la demande observée.

### 2.4.2 Méthodologie générale

#### 2.4.2.1 Étude de cas

Le système de vélopartage BIXI a été implanté en 2009. Dans la première année d'opération, le système a connu un tel succès que la seconde phase de déploiement, initialement prévue pour 2010, a été mise en place dès août 2009. À cette période, le système comptait 380 stations, plus de 4700 vélos et près de 10 000 membres actifs (Morency et al., 2011). En 2016, le système comptait 540 stations, 6250 vélos et plus de quatre millions de déplacements ont été réalisés pendant l'année (Bérubé, 2017).

#### 2.4.2.2 Bases de données

L'estimation de la demande de déplacements par vélopartage aux stations s'effectue à l'aide de modèles de régression linéaire. La variable indépendante est le nombre de déplacements produits ou attirés par chaque station. Les modèles visent à estimer l'impact de différentes variables explicatives. Celles-ci ont été a priori identifiées à l'aide d'une revue de littérature. Elles peuvent être classées en quatre catégories : socio-économiques, utilisation du sol, offres de transport et propriétés du système BIXI. Ces variables sont exposées dans une prochaine section.

### 2.4.3 Analyse descriptive

Puisque le modèle vise à terme à permettre d'évaluer des configurations de réseau (scénarios d'offre), nous choisissons de tenter d'expliquer la demande totale générée aux stations en retenant uniquement les données des mois de juin et juillet. Ce sont d'ailleurs les mois présentant la plus forte demande et sont donc critiques pour la conception du réseau. La Figure 22 présente

les distributions fréquentielles des flux quotidiens pour les différents mois de l'année 2011. On observe clairement que les distributions des mois de juin et juillet sont décalées à droite, donc vers des flux quotidiens plus importants.



Figure 22. Distribution des flux quotidiens selon le mois

## 2.4.4 Modélisation

### 2.4.4.1 Variables explicatives

Différentes variables explicatives sont construites pour insertion dans les modèles de régression linéaire. Les différentes bases de données utilisées pour construire ces variables sont d'abord présentées ainsi que les méthodes utilisées pour estimer les différents indicateurs considérés pertinents. Ces différents indicateurs sont en outre présentés.

La première source de données utilisée est le recensement canadien de 2011. Les données utilisées dans cette recherche sont agrégées au niveau des secteurs de recensement, chacun contenant entre 2500 et 8000 personnes. Chaque station BIXI hérite des propriétés du secteur de recensement dans lequel elle se situe. Pour les autres sources de données, les valeurs relatives à chaque station sont calculées en créant des zones d'accessibilité radiales. Plusieurs études sur le sujet utilisent des zones qui varient entre 200-800 mètres. Dans notre cas, deux dimensions sont expérimentées à savoir des zones d'accessibilité de 250 et 500 mètres. Franchir une distance de 250 mètres à pied (5 km/h) prend environ 3 minutes.

Les emplois sont estimés à partir des données de l'enquête Origine-Destination de 2013. Les déplacements pour motif travail sont utilisés comme variable proxy du nombre d'emplois dans la zone de destination.

Une autre des bases de données utilisées provient de « DMTI Spatial » et porte sur les points d'intérêt ("Enhanced Points of Interests") qui contient grosso modo la localisation de toutes les adresses qui ne sont pas résidentielles. Cette base de données, de 2013, est filtrée à l'aide de la classification NAICS<sup>1</sup> afin de ne retenir que les informations pertinentes pour le projet. D'autres données concernant l'utilisation du sol sont obtenues de la Communauté métropolitaine de Montréal pour 2012. L'information sur l'offre de transport en commun provient de la STM et de l'AMT (maintenant ARTM). Les infrastructures cyclables, datant de 2011, ont été obtenues de Vélo Québec, un organisme de promotion du vélo au Québec.

De ces données sont extraites de potentielles variables explicatives qui seront testées dans les modèles; des statistiques descriptives sommaires sont présentées ci-dessous:

- Données socio-économiques par secteur de recensement : population, densité de population, revenus moyens et emplois ;
- Données d'utilisation du sol : nombre d'adresses commerciales, nombre d'établissements post-secondaires, nombre d'adresses de type arts, spectacles et récréatif, nombre de sites de type hébergement et restauration, zones de parc et élévation (des stations) ;
- Offre de transport : nombre de stations de métro et train, fréquence quotidienne de bus aux arrêts, longueur du réseau cyclables ;
- Offre de service d'autopartage : capacité moyenne des stations (points d'ancrage), nombre de stations dans le voisinage (zones d'accessibilité) et capacité des stations avoisinantes, nombre de stations à moins de 2.5 km, distance de la station au centre moyen du réseau BIXI.

---

<sup>1</sup> North American Industry Classification System

Tableau 13. Sommaire de la distribution des variables indépendantes

	Zone tampon 250m				Zone tampon 500m			
	Min.	Médiane	Moyenne	Max.	Min.	Médiane	Moyenne	Max.
Population	0,0	2383,0	2752,0	7128,0	0,0	2383,0	2752,0	7128,0
Densité (pop./km <sup>2</sup> )	0,0	10177,6	9936,1	49647,6	0,0	10177,6	9936,1	49647,6
Revenu moyen	0,0	33790,0	37570,6	131785,0	0,0	33790,0	37570,6	131785,0
Emploi	0,0	953,0	3505,1	41169,0	171,0	4327,5	12611,5	112832,0
Commerces détail	0,0	10,0	21,3	230,0	0,0	39,0	71,4	434,0
Hôtels & restaurants	0,0	8,0	19,0	280,0	0,0	30,0	62,7	367,0
Activités récréatives	0,0	2,0	5,8	241,0	0,0	8,0	16,7	258,0
Post-secondaire	0,0	0,0	0,1	3,0	0,0	0,0	0,2	3,0
Aires de parc (m <sup>2</sup> )	0,0	1992,0	54300,5	1767243,0	0,0	25829,5	160947,6	2387055,0
Altitude	8,0	48,0	47,2	156,0	8,0	48,0	47,2	156,0
Stations de métro	0,0	0,0	0,2	1,0	0,0	1,0	0,7	4,0
Gares	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,1	2,0
Fréquence de bus	0,0	544,0	656,8	2095,0	0,0	2254,0	2536,2	6839,0
Infra. Cyclable (m)	0,0	368,0	530,5	2928,0	0,0	1608,0	2007,0	8048,0
Capacité moyenne	7,0	17,0	19,5	84,2	7,0	17,0	19,5	84,2
Stations avoisinantes	0,0	1,0	1,2	8,0	0,0	6,0	6,8	21,0
Capacité moyenne des stations avoisinantes	0,0	15,0	27,8	258,1	0,0	109,1	145,1	625,2
Stations avoisinantes (2,5km)	6,0	130,0	121,8	204,0	6,0	130,0	121,8	204,0
Distance au centre (m)	200,1	2597,9	2698,9	6897,0	200,1	2597,9	2698,9	6897,0

#### 2.4.5 Résultats du modèle

Après avoir effectué les validations relatives à la corrélation entre variables explicatives, 16 variables sont retenues dans le modèle explicatif. Le modèle est sous forme de régression linéaire dans laquelle Y est la variable dépendante, les  $\beta_n$  représentent les coefficients qui doivent être estimés,  $X_n$  les variables indépendantes et  $\varepsilon$  le terme d'erreur.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (1)$$

Les résultats initiaux étant plus ou moins convaincants, différentes transformations de variables sont testées. Le meilleur ajustement est obtenu avec l'utilisation d'une transformation logarithmique de toutes les variables. Lorsque les variables continues sont tronquées à 0, c'est la seconde transformation qui est appliquée.

$$\log(Y) = \beta_0 + \beta_1 \log(X_1) + \beta_2 \log(X_2) + \dots + \beta_n \log(X_n) + \varepsilon \quad (2)$$

$$\log(X_i + 1) \quad (3)$$

Deux modèles de production et attraction de déplacements sont estimés pour les zones d'attractivité de 250 m et 500 m. Les coefficients estimés ainsi que les résultats des modèles sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les variables en gras ont un effet significativement différent de 0 à 95%. L'intervalle de confiance des coefficients est aussi présenté.

Tableau 14. Résultats des modèles de production et attraction de déplacements

	250m		500m	
	Production	Attraction	Production	Attraction
Constante	8.31*** (7.20, 9.41)	8.82*** (7.66, 9.98)	5.91*** (4.57, 7.24)	6.19*** (4.78, 7.59)
Population	-0.11** (-0.21, -0.01)	-0.14** (-0.24, -0.03)	-0.08 (-0.18, 0.03)	-0.09 (-0.20, 0.03)
Densité résidentielle	0.10*** (0.03, 0.17)	0.13*** (0.06, 0.20)	0.11*** (0.03, 0.19)	0.12*** (0.04, 0.20)
Revenu moyen	-0.02 (-0.09, 0.04)	-0.02 (-0.09, 0.04)	-0.07* (-0.14, -0.0001)	-0.07* (-0.14, 0.003)
Emplois	0.07*** (0.03, 0.11)	0.06** (0.01, 0.10)	0.03 (-0.05, 0.11)	0.01 (-0.08, 0.09)
Activités récréatives	0.10*** (0.04, 0.16)	0.11*** (0.05, 0.17)	0.14*** (0.08, 0.21)	0.15*** (0.08, 0.22)
Université	-0.11 (-0.37, 0.16)	-0.44*** (-0.72, -0.16)	-0.05 (-0.21, 0.12)	-0.16* (-0.33, 0.01)
Aire de parc	-0.01** (-0.02, -0.001)	-0.01** (-0.02, -0.002)	-0.002 (-0.02, 0.01)	0.001 (-0.01, 0.02)
Altitude	0.14*** (0.04, 0.23)	-0.15*** (-0.25, -0.05)	0.15*** (0.04, 0.26)	-0.16*** (-0.28, -0.04)
Station de métro	0.05 (-0.12, 0.22)	0.06 (-0.11, 0.24)	-0.16*** (-0.29, -0.04)	-0.16** (-0.28, -0.03)
Gare	0.45* (-0.03, 0.94)	0.43 (-0.08, 0.94)	0.16 (-0.14, 0.46)	0.12 (-0.19, 0.44)
Passage de bus	0.04* (-0.004, 0.08)	0.06** (0.01, 0.10)	0.10* (-0.0002, 0.19)	0.15*** (0.05, 0.26)
Infra. cyclables	0.02** (0.002, 0.03)	0.02** (0.0004, 0.03)	0.03** (0.004, 0.06)	0.03* (-0.003, 0.06)
Capacité moyenne	0.87*** (0.73, 1.02)	0.90*** (0.75, 1.05)	0.98*** (0.84, 1.13)	1.03*** (0.88, 1.18)
Stations voisines	0.003 (-0.31, 0.32)	0.27 (-0.06, 0.60)	-0.09 (-0.33, 0.15)	0.05 (-0.20, 0.30)
Capacité moyenne des stations voisines	-0.01 (-0.11, 0.09)	-0.09* (-0.20, 0.01)	0.10 (-0.02, 0.22)	0.04 (-0.09, 0.16)
Dist. centre du réseau	-0.56*** (-0.66, -0.47)	-0.51*** (-0.61, -0.41)	-0.40*** (-0.51, -0.29)	-0.33*** (-0.45, -0.22)
Observations	404	404	404	404
R <sup>2</sup>	0.71	0.70	0.71	0.69
R <sup>2</sup> ajusté	0.70	0.68	0.70	0.68
Écart-type des résidus (df = 387)	0.42	0.45	0.42	0.45
Statistique F (df = 16; 387)	59.22***	55.14***	58.91***	55.03***

Significativité :

\* $p < 0.1$ ; \*\* $p < 0.05$ ; \*\*\* $p < 0.01$

La spatialisation des résidus du modèles de déplacements produits avec une zone d'attractivité de 500 m est présentée à la Figure 23. Les modèles ont des pouvoirs explicatifs très intéressants et les résidus ne présentent aucun patron particulier.

Ces modèles seront expérimentés avec d'autres années de déplacements BIXI. Le défi associé à la transposition temporelle est relatif à la disponibilité de données pour chaque année (les recensements ne sont disponibles qu'à chaque cinq ans par exemple).

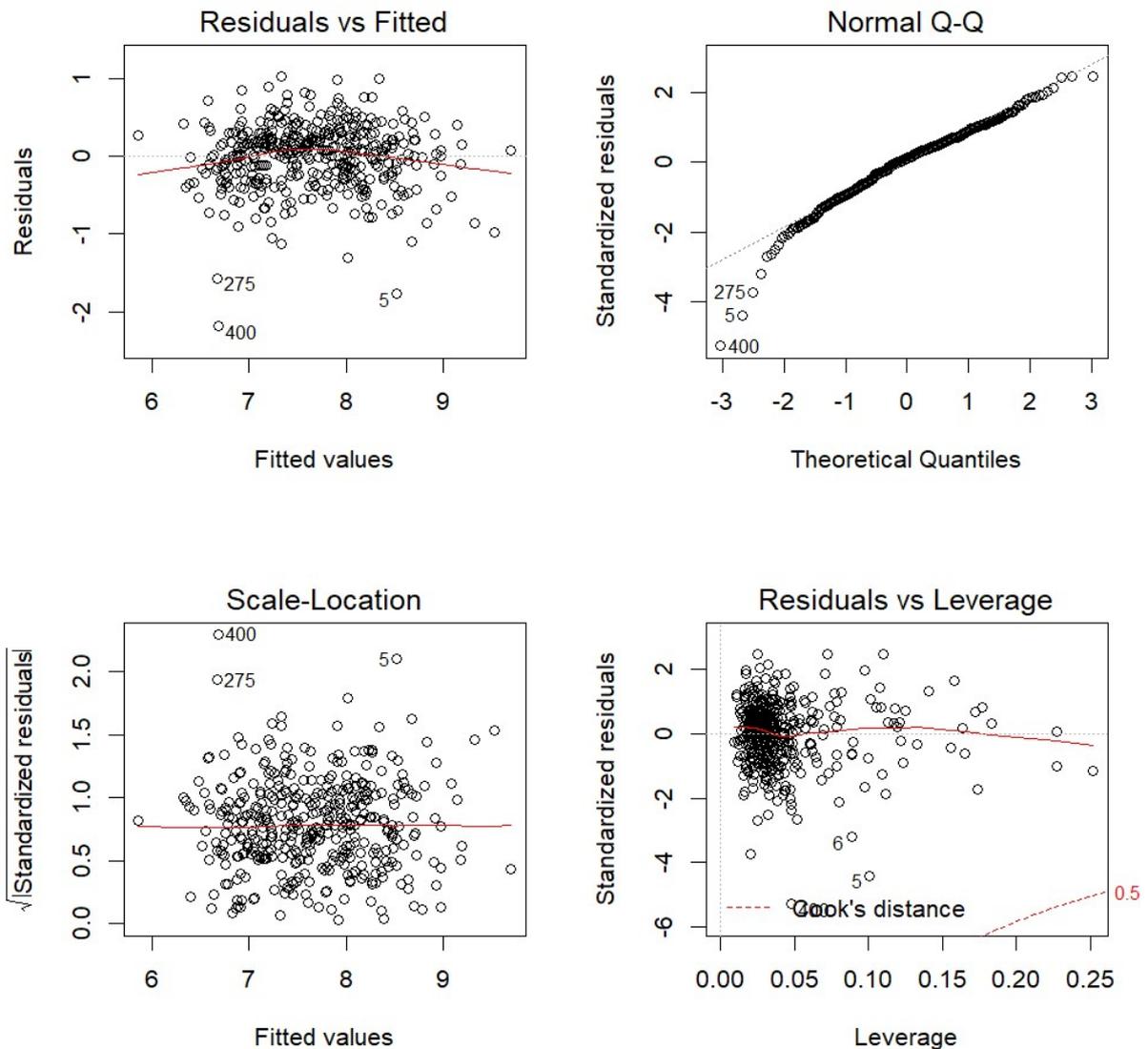


Figure 23. Résidus du modèle de production de déplacements pour une zone d'attractivité de 500m

#### 2.4.6 Conclusion et perspectives

Le vélopartage est une innovation de mobilité qui a gagné en popularité dans les dernières années. Dans le cas de Montréal, où les stations sont retirées à chaque fin de saison, il est pertinent d'évaluer l'usage du système sur la base de la localisation et des propriétés des stations puisque des décisions stratégiques peuvent être prises annuellement et même plus, les stations pouvant être facilement déplacées.

Cette section a présenté le développement d'un processus de développement de modèles de génération de déplacements (production et attraction). Différentes variables ont été explorées en vue d'une inclusion éventuelle dans les modèles. Celles-ci ont été construites en mettant à contribution différents ensembles de données sur la socio-démographie, l'utilisation du sol,

l'offre de transport et les propriétés du système de vélopartage lui-même. Les modèles ajustés estiment le nombre total de déplacements produits et attirés à chaque station pour les mois de juin et juillet, de lundi à vendredi, en 2011. Ceci implique que le modèle a une visée stratégique et ne considère pas la grande variabilité d'usage du système. Pour les prochaines étapes, il s'agira de développer une typologie de jours de déplacements, selon des facteurs exogènes tels que conditions météorologiques ou événements et de valider les modèles pour ces différents types de jour. En outre, le développement d'un modèle de distribution permettra de soutenir l'évaluation de différents scénarios de desserte.

## 2.5 Facteurs affectant les durées d'entrevue d'enquêtes web sur la mobilité

- Contribution de : Pierre-Léo Bourbonnais (associé de recherche)

### 2.5.1 Introduction

Les enquêtes de mobilité web sont de plus en plus mises de l'avant pour rejoindre les jeunes ménages dont la représentativité baisse d'année en année dans les enquêtes téléphoniques conventionnelles et pour réduire les coûts de la phase de collecte.

Très peu d'études ont été menées sur la durée des entrevues et les facteurs qui l'influencent en utilisant des parodonnées provenant d'enquêtes de mobilité. Or, l'analyse des durées d'entrevue peut favoriser une meilleure validation des données et peut aider à évaluer la qualité des échantillons et des données déclarées. La modélisation de la durée d'entrevue est également essentielle pour l'attribution des serveurs d'enquête et la surveillance des entrevues pendant la phase de collecte.

Cette section présente la méthodologie choisie pour obtenir un modèle des durées d'entrevue à l'aide de parodonnées tirées de neuf enquêtes web réalisés entre 2011 à 2013. Les principaux objectifs de la modélisation sont de faciliter la surveillance des entrevues en détectant les durées aberrantes, de fournir une meilleure estimation de la durée des entrevues et de permettre une évaluation plus précise de la performance des serveurs nécessaires avant de débiter les enquêtes. En utilisant un modèle de régression multiple, on observe que les variables les plus importantes pour expliquer la durée d'entrevue sont le nombre de déplacements auto et transport collectif ainsi que le nombre de lieux uniques visités au cours de la journée. Le fait d'utiliser un écran de petite taille augmente également la durée de l'entrevue. Le modèle fournit également une estimation de la durée d'entrevue en fonction des caractéristiques démographiques et du format du questionnaire.

Trois principaux médias étaient traditionnellement utilisés pour mener des enquêtes Origine-Destination: le téléphone, le courrier postal et les entrevues face-à-face. Compte tenu de l'augmentation de la taille des échantillons dans les enquêtes régionales, les entrevues téléphoniques assistées par ordinateur (CATI) étaient considérées comme le meilleur outil disponible à la fois pour réduire les coûts et améliorer la qualité des données. Cependant, depuis le début de la dernière décennie, des questionnaires en ligne ont été suggérés pour élargir la portée des enquêtes CATI classiques. Les enquêtes web ont été introduites dans le domaine du transport principalement pour résoudre les problèmes associés aux enquêtes CATI qui demandent de nombreuses ressources humaines, mais aussi pour fournir un questionnaire basé sur un médium utilisé par une population croissante dans ses activités quotidiennes. La baisse des taux de réponse et la difficulté de construire une base de sondage représentative en utilisant uniquement les numéros de téléphone fixes sont maintenant les principaux inconvénients des enquêtes téléphoniques classiques. Selon l'Enquête sur le service téléphonique résidentiel (Statistics Canada, 2013), 60% des jeunes ménages âgés de 18 à 34 ans n'utilisaient que des téléphones cellulaires, et demeurent en ce sens introuvables dans les annuaires publics. Même si le web ne permet pas en soi d'obtenir des échantillons de qualité et représentatifs, il peut attirer des répondants qui ne veulent pas participer à des enquêtes téléphoniques ou qui ne sont pas accessibles en utilisant les modes d'enquête conventionnels ou pendant les périodes habituelles d'entrevue. De plus, pour certains types de générateurs de déplacements, les questionnaires en ligne sont plus faciles à administrer et moins coûteux à long terme.

Depuis 2010, des enquêtes en ligne ont été déployées au Québec pour recueillir des données sur les déplacements des personnes et des ménages. Cette étude intègre des données provenant de

neuf enquêtes web pour analyser et modéliser la durée des entrevues. Cette section propose diverses statistiques descriptives concernant les taux de réponse et de complétion et les durées d'entrevue ainsi que deux modèles de durée d'entrevue, un premier pour les enquêtes-personnes et un second pour les enquêtes-ménages.

La section revue de littérature introduit d'abord le processus de collecte de données en définissant le terme « paradonnée ». Il résume également les recherches antérieures axées sur la modélisation des durées d'entrevue. La section suivante fournit le contexte de réalisation des neuf enquêtes web de mobilité menées dans le cadre de projets de recherche. Cette seconde section propose également une vue d'ensemble des paradonnées collectées lors des entrevues en ligne. La partie suivante expose la méthodologie utilisée et résume les étapes impliquées dans le processus d'obtention des modèles pour les durées d'entrevue. Dans la section résultats, on retrouve les différentes variables et indicateurs clés en comparant les enquêtes web. On y expose également les résultats liés aux modèles de durée d'entrevue. Finalement, la conclusion discute des utilisations du modèle et des limitations.

## 2.5.2 Revue de littérature

Cette section propose divers éléments de contexte entourant la modélisation des durées d'entrevue, à savoir la discussion sur les paradonnées et leur utilisation dans l'analyse des données d'enquêtes de mobilité ainsi que les recherches antérieures réalisées sur les durées d'entrevue.

### 2.5.2.1 *Paradonnée: Mesurer le processus d'entrevue en lui-même*

La "Paradonnée", proposée en premier lieu par Couper (1998) et expliquée par Kreuter et al. (2010), est utilisée comme terme spécialisé pour représenter les données collectées automatiquement pendant les entrevues assistées par ordinateur et dont le but est de favoriser le suivi, la gestion et l'évaluation de la qualité des données. Le comportement du répondant est donc évalué après analyse des paradonnées. Alors que les données sur les durées d'entrevue (temps de réponse) et les interruptions (entrevues incomplètes, également appelées abandons) sont presque toujours conservées, des informations plus précises peuvent également être collectées lors d'entrevues en ligne. En particulier, les informations techniques, notamment le navigateur, l'appareil et le système d'exploitation utilisés par le répondant, sont généralement enregistrées. Cependant, même si la quantité des paradonnées collectées au cours des entrevues augmente année après année grâce à un plus large éventail d'outils de collecte de données disponibles, les ressources nécessaires pour intégrer, valider et analyser les paradonnées augmentent sans cesse. Dans ce contexte, la collecte et la gestion des paradonnées nécessitent une meilleure structure et bénéficieraient de meilleures normes (Kreuter, 2013).

### 2.5.2.2 *Analyse des paradonnées dans les enquêtes Origine-Destination de type CATI*

Le partenariat unique qui existe entre le milieu académique et les autorités organisatrices d'enquêtes Origine-Destination au Québec a permis de soutenir avec les années la plus grande couverture possible de la population et a contribué à améliorer la qualité des données des entrevues téléphoniques réalisées au fil des ans. Depuis 1993 dans la région de Montréal, des améliorations méthodologiques et techniques ont été apportées au processus d'enquête (Trépanier et al., 2008). Au cours de ces enquêtes, une grande quantité de paradonnées ont été collectées et ont permis à Morency (2008) et Chapleau (2003) d'établir une manière structurée d'évaluer la qualité des entretiens téléphoniques. En mesurant le statut de l'appel, l'heure de début / fin de l'entrevue et en enregistrant le comportement de chaque enquêteur, il était même possible de rejouer l'entretien plus tard pour des fins de formation ou pour l'évaluation de la qualité des données.

#### *2.5.2.3 Modélisation de la durée d'entrevue dans les enquêtes Origine-Destination de type CATI*

En utilisant les parodonnées des enquêtes ménages régionales de Montréal de 1998 et de 2003, Morency (2008) et Chapleau (2003) ont proposé un modèle de durée d'entrevue similaire pour les deux années. Comme prévu, la durée de l'entrevue était fortement liée à la taille du ménage (un peu plus de 30 secondes par personne en moyenne) et au nombre de déplacements déclarés (environ 1,5 minute pour les déplacements transport collectif, et en moyenne 1 minute pour les déplacements d'autres modes). De plus, ils ont constaté que l'expérience de l'intervieweur, les entrevues débutées après 17 heures, le fait que le répondant était une femme ou qu'il avait au moins 65 ans avaient tous tendance à réduire la durée de l'entrevue. Pour les deux années, le modèle expliquait un peu plus de 40% de la variabilité de la durée d'entrevue observée ( $R^2 = 0,45$  en 2003 contre 0,43 en 1998).

#### *2.5.2.4 Modélisation des durées d'entrevues web*

Les durées d'entrevue sont difficiles à comparer entre les enquêtes de différents types en raison de leur forte dépendance à la quantité de questions posées et à leur complexité. Néanmoins, Gummer et Rossmann (2014) ont récemment proposé un modèle de durée d'entrevue regroupant 21 enquêtes web (23 779 répondants). Alors que toutes les enquêtes portaient sur les attitudes et les comportements par rapport à la politique, des hypothèses valables ont néanmoins été testées. Celles-ci étaient liées à la complexité et au format des questions, à l'appareil utilisé et aux caractéristiques des répondants comme le groupe d'âge, le niveau de scolarité et l'intérêt pour le sujet. En fait, les résultats ont montré que les répondants plus âgés, les répondants ayant un niveau de scolarité plus faible et les répondants ayant un intérêt plus élevé dans le sujet ont mis plus de temps à répondre. Ils ont également révélé que l'utilisation d'appareils à petit écran comme les téléphones intelligents exigeait beaucoup plus de temps pour compléter l'entrevue. Cependant, à ce jour, il semble que la durée des entrevues n'ait jamais été modélisée pour les enquêtes de mobilité en ligne en particulier. Par conséquent, les hypothèses de Chapleau (2003), Morency (2008) et Gummer et Rossmann (2014) serviront de référence pour notre propre modélisation de la durée des entrevues.

### 2.5.3 Contexte et données

Afin de soutenir l'élaboration d'un plan de transport durable pour un campus universitaire, un questionnaire de mobilité en ligne a été élaboré par Bourbonnais et Morency (2013). Il a été utilisé pour la première fois à l'automne 2010 pour recueillir des données auprès des étudiants et des employés de Polytechnique avec un taux de réponse de 18%. Il a de nouveau été administré l'année suivante avec le reste du campus de l'Université de Montréal, pour une population cible de plus de 65 000 personnes, avec un taux de réponse de près de 20% pour Polytechnique et de 11% pour le reste du campus. Suite au succès de ces initiatives et compte tenu du faible coût du processus, d'autres organismes et agences ont voulu s'impliquer dans le développement de la plateforme d'enquête en ligne. Entre 2010 et 2013, le MTMDET (anciennement MTQ), l'ARTM (anciennement AMT), l'Université de Sherbrooke, Communauto et BIXI ont proposé des versions adaptées pour le web de leur questionnaire d'enquête sur la mobilité.

#### *2.5.3.1 Deux types de questionnaires: questionnaire personne et questionnaire ménage*

La première version du questionnaire a été conçue pour recueillir les déplacements d'un seul répondant à la fois et, en ce sens, était basé sur la personne (enquête-personne). Toutefois, la prochaine étape logique consistait à améliorer la plateforme pour permettre aux ménages de déclarer les déplacements et les caractéristiques sociodémographiques de chaque membre du ménage de plus de 4 ans. Lors de l'élaboration du modèle de durée d'entrevue, 7 enquêtes basées sur les personnes et 2 enquêtes basées sur les ménages avaient été menées en utilisant la même

plateforme. Pour en savoir davantage sur l'interface et de la conception du questionnaire, consultez Bourbonnais et Morency (2011).

### 2.5.3.2 Contexte

Le Tableau 15 comprend, pour chaque enquête, la période de l'année où elle a été menée, la méthode de recrutement, la base de sondage ainsi que l'objectif principal de la collecte.

Tableau 15. Contexte des enquêtes conduites entre 2010 et 2015

Enquête	Période	Recrutement	Échantillon	Objectif principal
<b>Polytechnique Montréal PY10</b> <i>Questionnaire personne</i>	Automne 2010	Courriel (liste officielle de l'établissement)	Étudiants et employés	Plan de mobilité durable
<b>Polytechnique Montréal PY11</b> <i>Questionnaire personne</i>	Automne 2011	Courriel (liste officielle de l'établissement)	Étudiants et employés	Plan de mobilité durable
<b>Université de Montréal UM11</b> <i>Questionnaire personne</i>	Automne 2011	Courriel (liste officielle de l'établissement)	Étudiants et employés	Plan de mobilité durable
<b>Trois-Rivières – MTQ TR11</b> <i>Questionnaire personne</i>	Printemps 2011	Téléphones cellulaires (liste locale) Par la poste	Utilisateurs de téléphones cellulaires Un répondant par ménage	Test de l'outil dans un contexte régional
<b>Étudiants de la région de Sherbrooke – MTQ SH13</b> <i>Questionnaire personne</i>	Printemps 2013	Courriel (listes officielles des établissements)	Étudiants (université principale et collèges)	Fusion des données avec l'échantillon conventionnel CATI
<b>Communauto CM13</b> <i>Questionnaire personne</i>	Automne 2013	Courriel (liste officielle des membres)	Membres du service d'autopartage	Étude des comportements de mobilité des membres
<b>Bixi BX13</b> <i>Questionnaire personne</i>	Automne 2013	Courriel (liste officielle des membres)	Membres du service de vélopartage	Étude des comportements de mobilité des membres
<b>Étudiants universitaires de la région de Toronto TT15</b> <i>Questionnaire personne</i>	Automne 2015	Courriel (listes officielles des établissements)	Population étudiante universitaire	Étude des comportements de mobilité des étudiants universitaires
<b>Québec – MTQ QC11</b> <i>Questionnaire ménage</i>	Automne 2011	Par la poste Courriel (résidences étudiantes) Facebook et Twitter (invitations effectuées par les agences de transport locales)	Membres du ménage de 5 ans et plus Étudiants habitant dans une résidence Utilisateurs des réseaux sociaux	Premier test du questionnaire ménage
<b>Montréal – AMT MTL13</b> <i>Questionnaire ménage</i>	Automne 2013	Refus téléphoniques Site web des partenaires	Membres du ménages de 5 ans et plus	Deuxième test du questionnaire ménage

### 2.5.3.3 Paradoxaux collectés

Les paradoxes utilisés pour mesurer la durée d'entrevue incorporent les horodatages (timestamps) inscrits dans le journal des entrevues (logs). La durée totale est calculée entre le clic sur le bouton « Débuter l'entrevue » et le clic sur le bouton « Terminer l'entrevue ». Pour exclure de cette durée les moments pendant lesquels le répondant ne répond pas activement à l'entrevue, les durées de plus de 5 minutes<sup>2</sup> entre deux actions consécutives enregistrées dans le journal sont remplacées par la durée moyenne des actions comparables du même répondant. Bien que cette méthode apporte un biais important dans l'analyse statistique des temps de réponse, elle demeure une manière simple pour ne conserver que les durées pendant lesquelles le répondant est attentif. Il n'existe pas de mécanisme fiable dans les navigateurs web pour vérifier quel onglet ou quelle page est active, et il est impossible de savoir si le répondant est bel et bien devant son écran lorsqu'aucune action n'est détectée. Une analyse plus précise des durées

<sup>2</sup> 5 minutes constituent le seuil à partir duquel la distribution des durées entre les actions se stabilise.

d'entrevue pourra être réalisée seulement après obtention de journaux d'entrevues complétées par un panel de répondants supervisés dans un lieu contrôlé. Les durées d'entrevues de l'enquête PY10 n'ont pas été incluses dans la création du modèle, car la méthode d'enregistrement des parodonnées de durées n'était pas assez robuste pour obtenir des durées précises et comparables. Par ailleurs, le modèle a été généré avant la tenue de l'enquête de Toronto (TT15), ce qui explique pourquoi elle ne se retrouve pas dans la modélisation des durées d'entrevue.

#### 2.5.3.4 Statistiques reliées à la durée d'entrevue

Un sommaire des statistiques descriptives des différentes enquêtes est présenté au Tableau 16 (enquête-ménage) et au Tableau 17 (enquête-personne).

Tableau 16. Statistiques descriptives, taux de réponse et taux d'achèvement pour les 2 enquêtes-ménage réalisées en 2011 et 2013.

Enquête	Univers d'étude	# Invitations (# rappels)	# Entrevues débutées	# Entrevues complétées	Durée d'entrevue							
					Moyenne	Écart-Type	Interquartile IQR	Min	Q1 25%	Médiane	Q3 75%	Max
QC11	Par la poste	1000 lettres envoyées 749 reçues (aucun rappel)	138	98	23.7	13.4	14.2	5.6	14.7	20.1	29.0	63.0
	Étudiants en résidence	Inconnu (aucun rappel)	60	41	11.4	7.2	11.3	2.2	5.6	9.7	16.9	32.2
	Réseaux sociaux	Inconnu (aucun rappel)	36	26	12.7	6.4	8.8	4.0	7.6	12.2	16.4	28.1
MTL13	Refus téléphoniques	553 ont accepté de participer 456 courriels valides ont reçu une invitation (1 rappel)	70	46	23.0	13.1	19.3	3.9	12.6	22.0	31.9	56.8
	Sites web des partenaires	Inconnu (aucun rappel)	599	443	21.4	12.5	13.8	1.4	12.8	19.0	26.6	92.0
<b>Total enquête-ménage</b>		<b>Inconnu</b>	<b>903</b>	<b>654</b>	<b>20.9</b>	<b>12.6</b>	<b>14.2</b>	<b>1.4</b>	<b>12.1</b>	<b>18.1</b>	<b>26.3</b>	<b>92.0</b>

Enquête	Échantillon	# Contacts	# Abandons	# Entrevues complétées	Taux de réponse (entrevue débutée)	Taux d'achèvement	Taux d'abandon
QC11	Par la poste 1000 lettres envoyées	749	40	98	18.4%	9.8%	28.9%
MTL13	Refus téléphoniques 553 ont accepté de participer	456 courriels valides ont reçu l'invitation	24	46	15.4%	8.6%	34.3%
	Sites web des partenaires	Inconnu	156	443	N/A	N/A	26.0%

Tableau 17. Statistiques descriptives, taux de réponse et taux d'achèvement pour les 7 enquêtes-personne réalisées entre 2010 et 2013

Enquête	Univers d'étude	# Invitations (# rappels)	# Entrevues débutées	# Entrevues complétées	Durée d'entrevue							
					Moyenne	Écart-Type	Interquartile IQR	Min	Q1 25%	Médiane	Q3 75%	Max
PY10		8 618	1 972	1 530	13.2	6.5	7.4	2.5	8.7	11.6	16.1	39.8
PY11		8 576 (2 rappels)	1 929	1 673	12.6	5.9	7.0	1.7	8.5	11.4	15.4	75.9
UM11		58 483 (2 rappels)	7 948	6 501	14.1	6.9	8.0	1.8	9.4	12.8	17.4	74.3
TR11	Téléphones cellulaires: N/A	1 644 (aucun rappel)	333 ont accepté de participer 109 entrevues débutées	81	11.9	7.5	7.5	2.5	7.3	10.0	14.8	47.6
	Par la poste: N/A	< 1 000 (aucun rappel)	54	35	13.0	7.2	9.9	2.7	7.9	11.8	17.8	33.0
SH13	Université: 16 194	16 194 (1 rappel)	2 399	1 838	13.0	5.5	6.7	2.5	9.1	12.1	15.7	48.1
	Collèges: 6 820	6 820 (aucun rappel)	683	467	13.7	6.5	7.3	3.2	9.4	12.3	16.7	53.7
CM13	~30 000	Inconnu (aucun rappel)	3 143	2 527	13.8	7.1	8.2	1.9	8.9	12.3	17.1	63.2
BX13	78 068	74 905 (1 rappel)	6,191	4 423	13.6	7.3	8.2	2.1	8.7	12.1	16.9	69.6
<b>Total enquête-personne</b>		<b>&gt; 180 000</b>	<b>24 428</b>	<b>19 075</b>	<b>13.6</b>	<b>6.8</b>	<b>7.8</b>	<b>1.7</b>	<b>9.0</b>	<b>12.2</b>	<b>16.7</b>	<b>75.9</b>

Enquête	Échantillon	# Contacts	# Abandons	# Entrevues complétées	Taux de réponse (entrevue débutée)	Taux d'achèvement	Taux d'abandon
PY10	Étudiants et employés	8 618	442	1 530	● 22.9%	● 17.8%	● 22.4%
PY11	Étudiants et employés	8 576	256	1 673	● 22.5%	● 19.5%	● 13.3%
UM11	Étudiants et employés	58 483	1 447	6 501	● 13.6%	● 11.1%	● 18.2%
TR11	Téléphones cellulaires	1 644 333 ont accepté de participer	28	81	● 6.6%	● 4.9%	● 25.7%
	Par la poste	< 1 000	19	35	N/A	N/A	● 35.2%
SH13	Université	16 194	561	1 838	● 14.8%	● 11.3%	● 23.4%
	Collèges	6 820	216	467	● 10.0%	● 6.8%	● 31.6%
CM13	Membres: ~30 000	Inconnu	616	2 527	N/A	N/A	● 19.6%
BX13	Membres: 78 068	74 905	1 768	4 423	● 8.3%	● 5.7%	● 28.6%

## 2.5.4 Méthodologie

### 2.5.4.1 Modèle de durée d'entrevue

Plusieurs hypothèses ont été proposées en se basant sur les résultats de Chapleau (2003), Morency (2008) et Gummer et Rossmann (2014). Les entrevues provenant des enquêtes-ménage ont fait l'objet d'une modélisation distincte des entrevues des enquêtes-personne, puisque leurs durées d'entrevue moyennes sont significativement différentes et parce que l'entrevue est complétée par un ou plusieurs membres du ménage, ce qui rend difficile l'inclusion des attributs démographiques du répondant. En ce sens, pour les enquêtes-ménage, seul l'âge moyen des adultes de plus de 18 ans dans le ménage est inclus en tant que variable démographique dans le modèle, puisque la personne qui répond au questionnaire et son âge ne sont pas connus. Le Tableau 18 présente les hypothèses reliées à la durée d'entrevue des enquêtes-ménage et des enquêtes-personne.

Tableau 18. Hypothèses utilisées pour la modélisation de la durée d'entrevue des enquêtes-ménage et enquêtes-personne

EM: enquête-ménage EP: enquête-personne	Source	Hypothèse
<b>Hypothèse EM1 / EP1</b>	CATI	Le nombre de déplacements est proportionnel à la durée d'entrevue (effet prédit: grand)
<b>Hypothèse EM2 / EP2</b>	CATI	La taille du ménage augmente proportionnellement la durée d'entrevue (effet prédit: grand)
<b>Hypothèse EM3a</b>	(G. & R. 2014)	Les ménages constitués de personnes plus âgées ont des durées d'entrevue plus longues (effet prédit: moyen)
<b>Hypothèse EM3b</b>	CATI	Les ménages constitués de personnes plus âgées ont des durées d'entrevue moins longues (effet prédit: moyen)
<b>Hypothèse EP3a</b>	(G. & R. 2014)	Les personnes plus âgées ont des durées d'entrevue plus longues (effet prédit: moyen)
<b>Hypothèse EP3b</b>	CATI	Les personnes plus âgées ont des durées d'entrevue moins longues (effet prédit: moyen)
<b>Hypothèse EM4 / EP4</b>	CATI	Les entrevues débutées après 17h prennent davantage de temps à compléter (effet prédit: léger)
<b>Hypothèse EM5 / EP5</b>	Nouvelle proposition	La présence d'une connexion internet haute vitesse au domicile réduite le temps d'entrevue (chargement plus rapide des pages et plus grande expérience de l'utilisation d'internet) (effet prédit: léger)
<b>Hypothèse EM6 / EP6</b>	(G. & R. 2014)	L'utilisation d'un appareil à petit écran augmente le temps d'entrevue (effet prédit: léger)
<b>Hypothèse EM7 / EP7</b>	Nouvelle proposition	Le fait que le répondant ne déclare aucun déplacement réduira la durée d'entrevue encore davantage qu'avec EM1 / EP1 puisqu'il n'aura pas à lire les introductions à la déclaration des déplacements. En fait, l'hypothèse prédit qu'il existe un temps fixe requis pour lire ces introductions et textes explicatifs. (effet prédit: léger)
<b>Hypothèse EP8</b> <i>PY11, SH13, CM13 et BX13 seulement</i>	(G. & R. 2014)	Les répondants intéressés davantage par le sujet auront des durées d'entrevue plus longue à cause de leur motivation à être plus précis dans leurs réponses. La réponse à la question: <i>Voudriez-vous participer à d'autres études sur la mobilité?</i> est utilisée pour connaître cet intérêt (effet prédit: léger)
<b>Hypothèse EP9</b>	CATI	Le fait que le répondant soit une femme augmente la durée d'entrevue (effet prédit: léger)
<b>Hypothèse EP10</b>	Nouvelle proposition	Le nombre de questions supplémentaires spécifique à l'enquête augmente de manière proportionnelle la durée d'entrevue (effet prédit: moyen)
<b>Hypothèse EP11</b>	Nouvelle proposition	Un grand nombre de modes de transport uniques déclarés augmente la durée d'entrevue, à cause de la complexité accrue. (des questions différentes sont posées en fonction du mode sélectionné). (effet prédit: léger)

Les tableaux Tableau 19 et Tableau 20 comprennent les statistiques descriptives pour chaque variable indépendante utilisée dans les modèles des enquêtes-ménage et personne.

Tableau 19. Statistiques descriptives des variables indépendantes utilisées dans la modélisation de la durée d'entrevue des enquêtes-ménage QC11 et MTL13

Variable	Moyenne $\bar{X}$	Écart-type	Min	Max
Nombre de lieux visités uniques (entier)	5.041	2.905	0	17
Nombre de segments voiture	3.199	3.818	0	25
Nombre de segments transport collectif	2.760	3.479	0	28
Nombre de segments autre mode	1.687	2.587	0	15
Taille du ménage	2.291	1.123	1	7
Âge moyen 18-29 (référence)	0.226	0.419	0	1
Âge moyen 30-39	0.378	0.485	0	1
Âge moyen 40-49	0.190	0.392	0	1
Âge moyen 50-59	0.113	0.317	0	1
Âge moyen 60+	0.093	0.291	0	1
Entrevue débutée après 17h	0.327	0.470	0	1
Accès internet haute vitesse au domicile	0.861	0.346	0	1
Appareil à petit écran utilisé	0.017	0.129	0	1

Tableau 20. Statistiques descriptives des variables indépendantes utilisées dans la modélisation de la durée d'entrevue des enquêtes-personne PY11, UM11, TR11, SH13, CM13 et BX13

Variable	Moyenne $\bar{X}$	Écart-type	Min	Max
Nombre de lieux visités uniques	3.611	1.956	0	19
Nombre de segments voiture	1.145	1.876	0	16
Nombre de segments transport collectif	1.679	1.950	0	15
Nombre de segments autre mode	1.036	1.614	0	14
Nombre de modes uniques	1.635	1.018	0	6
Taille du ménage	2.533	1.289	1	20
Nombre de questions ajoutées par l'organisation	19.226	18.532	0	42
Âge 18-29 (référence)	0.507	0.497	0	1
Âge 30-39	0.234	0.424	0	1
Âge 40-49	0.121	0.326	0	1
Âge 50-59	0.099	0.299	0	1
Âge 60+	0.039	0.195	0	1
Aucun déplacement déclaré (non-mobile)	0.092	0.289	0	1
Entrevue débutée après 17h	0.328	0.469	0	1
Accès internet haute vitesse au domicile	0.862	0.345	0	1
Appareil à petit écran utilisé	0.042	0.202	0	1
Sexe: femme	0.592	0.492	0	1
Intéressé à participer à d'autres études = oui (référence)	0.317	0.465	0	1
Intéressé à participer à d'autres études = non	0.222	0.416	0	1
Intéressé à participer à d'autres études = inconnu	0.461	0.498	0	1

Afin de construire le modèle, une régression linéaire multivariée a été appliquée et les variables indépendantes ont été ajoutées en ordre décroissant de la taille de l'effet prédit selon la

littérature ou estimé (méthode hiérarchique). Comme dans (8), le logarithme naturel de la durée d'entrevue a été privilégié dans le but d'atténuer l'asymétrie. En effet, le coefficient d'asymétrie de la variable non transformée pour les enquêtes-ménage est de 1.477, alors que son logarithme naturel présente un coefficient de -0.414. Du côté des enquêtes-personne, le coefficient d'asymétrie passe de 1.683 à -0.092.

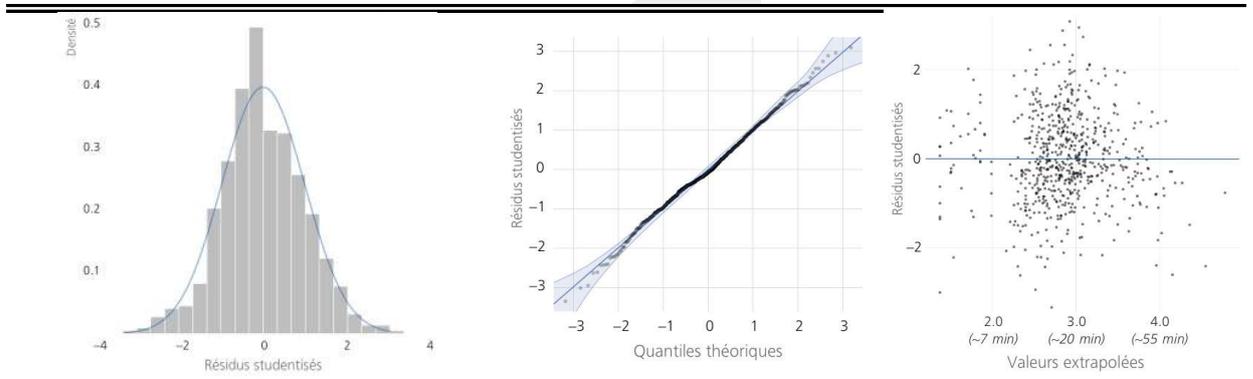
#### 2.5.5 Résultats : durée d'entrevue pour enquête-ménage

La Figure 24 résume les résultats et les statistiques du modèle de durée d'entrevue pour les enquêtes-ménage. À l'exception de la variable représentée dans l'hypothèse EM4, toutes les variables indépendantes sont significatives. De ce fait, seule l'hypothèse EM4 indiquant si l'entrevue a été débutée après 17h a été retirée du modèle. L'hypothèse EM3a est confirmée par opposition à EM3b. Conséquemment, les répondants plus âgés semblent avoir des durées d'entrevues plus longues de manière significative.

L'hypothèse d'absence de multicollinéarité est remplie puisque aucune variable indépendante ne présente un facteur VIF (variance inflation factor) plus grand que 5 (équivalente à une tolérance plus petite que 0.2). Les résidus sont distribués de manière aléatoire à l'exception des entrevues de plus de 55 minutes (logarithme naturel > 4.0). Conséquemment, l'utilisation du modèle pour les entrevues de très longue durée est à éviter.

En analysant les cas influents, il est possible de vérifier qu'il n'existe aucune entrevue pour laquelle la distance de Cook approche 1, ce qui confirme qu'il n'y a aucune durée d'entrevue qui influence de manière trop importante l'estimation des variables indépendantes. L'histogramme et le diagramme quantile-quantile des résidus indiquent que la normalité et la linéarité des résidus est acceptable.

Taille de l'échantillon $n$	Régression SS	Résidus SS	$R^2$ ajusté	Erreur standard des résidus	Test de Durbin-Watson
654	173.321 (10 df)	77.128 (643 df)	0.687	0.346	● 1.957



Dépendante: $\ln(\text{durée d'entrevue})$	Coef. B	Intervalles de confiance B		Erreur std. B	Coef. std. $\beta$	t	q-value*	Statistiques de collinéarité		
		2.5%	97.5%					Tolérance	VIF	
Constante	2.124	2.015	2.232	0.055		38.597	< .0001			
EM1 Nombre de segments voiture	0.060	0.047	0.073	0.006	● 0.370	9.359	< .0001	● 0.306	● 3.267	
EM1 Nombre de segments transport collectif	0.046	0.029	0.065	0.009	● 0.261	9.296	< .0001	● 0.608	● 1.644	
EM1 Nombre de lieux visités uniques	0.047	0.037	0.056	0.005	● 0.219	5.085	< .0001	● 0.258	● 3.874	
EM1 Nombre de segments ni voiture ni transport collectif	0.046	0.031	0.061	0.008	● 0.191	6.033	< .0001	● 0.478	● 2.091	
EM2 Taille du ménage	0.082	0.053	0.111	0.015	● 0.148	5.546	.0013	● 0.669	● 1.495	
<i>Variables dummy:</i>										
EM7 Nombre de déplacements = 0	-0.701	-0.826	-0.576	0.064	● -0.275	-11.001	< .0001	● 0.768	● 1.302	
EM3a Âge: 60+	0.401	0.300	0.503	0.052	● 0.189	7.750	< .0001	● 0.809	● 1.236	
EM3a Âge: 50-59	0.258	0.169	0.346	0.045	● 0.132	5.723	< .0001	● 0.901	● 1.110	
EM6 Appareil à petit écran utilisé	0.504	0.296	0.712	0.106	● 0.105	4.766	< .0001	● 0.991	● 1.009	
EM5 Internet haute vitesse au domicile	-0.133	-0.214	-0.053	0.041	● -0.075	-3.243	.0032	● 0.904	● 1.106	

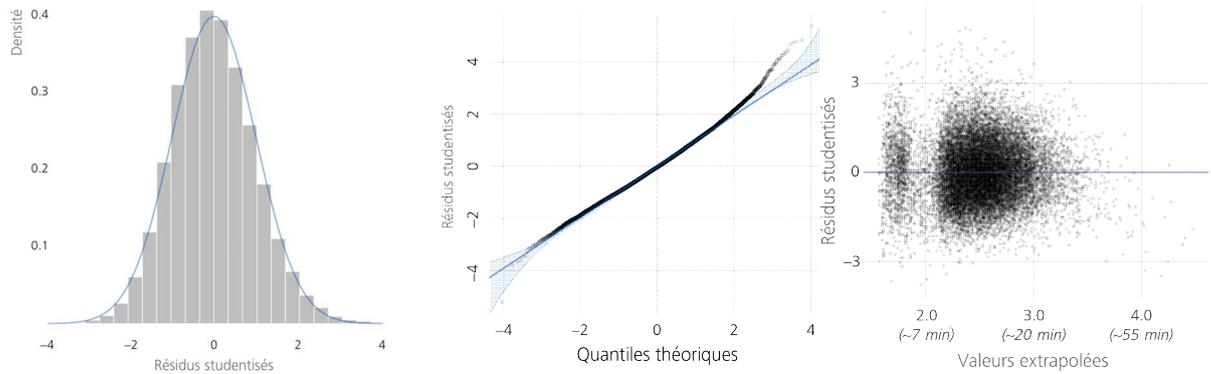
\* le q-value est le p-value normalisé sur un échantillon de taille 100:  $q = p \sqrt{\frac{n}{100}}$  (Woolley, 2003)

Figure 24. Modèle de durée d'entrevue pour les enquêtes-ménage

### 2.5.5.1 Modèle de durée d'entrevue pour enquête-personne

La Figure 25 montre les mêmes informations, mais cette fois pour les enquêtes-personne. Dans ce cas, toutes les variables indépendantes testées sont significatives et l'hypothèse EP3a est également vérifiée. Contrairement aux résultats obtenus lors des enquêtes de type CATI, la durée d'entrevue des femmes n'est pas plus courte, mais bien un peu plus longue en moyenne, mais avec un petit effet. Les hypothèses d'absence de multicollinéarité sont également vérifiées, et aucune entrevue n'influence de manière trop importante les résultats. Les résidus présentent la même tendance que pour les enquêtes-ménage, mais cette fois, les entrevues de plus de 40 minutes (logarithme naturel > 3.7) présentent une certaine hétéroscédasticité. Les résidus ont une certaine déviation par rapport à la normalité et à la linéarité. En fait, lorsque seules les durées d'entrevue inférieures au 95<sup>e</sup> centile sont incluses dans le modèle, le diagramme quantile-quantile des résidus ne présente aucune déviation significative par rapport à la normale.

Taille de l'échantillon $n$	Régression SS	Résidus SS	$R^2$ ajusté	Erreur standard des résidus	Test de Durbin-Watson
17545	2178.68 (16 df)	1783.67 (17528 df)	0.549	0.319	● 1.990



Dépendante: $\ln(\text{durée d'entrevue})$	Coef. B	Intervalles de confiance B		Erreur std. B	Coef. std. $\beta$	t	q-value*	Statistiques de collinéarité		
		2.5%	97.5%					Tolérance	VIF	
<i>Constant</i>	1.799	1.776	1.821	0.012		156.369	<.0001			
EP1 Nombre de segments voiture	0.071	0.067	0.076	0.002	● 0.282	32.067	<.0001	● 0.332	● 3.012	
EP 1 Nombre de lieux visités uniques	0.065	0.061	0.070	0.003	● 0.269	26.054	<.0001	● 0.240	● 4.165	
EP 1 Nombre de segments transport collectif	0.061	0.057	0.066	0.002	● 0.252	29.838	<.0001	● 0.359	● 2.784	
EP 1 Nombre de segments ni voiture ni transport collectif	0.054	0.049	0.059	0.002	● 0.184	21.867	<.0001	● 0.363	● 2.752	
EP 10 Nombre de questions spécifiques	0.003	0.002	0.003	< 0.001	● 0.101	15.890	<.0001	● 0.636	● 1.573	
EP 2 Taille du ménage	0.026	0.023	0.030	0.002	● 0.072	13.464	<.0001	● 0.908	● 1.101	
EP 11 Nombre de modes uniques	0.027	0.020	0.034	0.004	● 0.058	7.167	<.0001	● 0.397	● 2.521	
<i>Variables dummy:</i>										
EP6 Appareil à petit écran utilisé	0.401	0.378	0.425	0.012	● 0.170	33.188	<.0001	● 0.977	● 1.023	
EP3a Âge: 60+	0.349	0.324	0.374	0.013	● 0.143	27.472	<.0001	● 0.949	● 1.054	
EP3a Âge: 50-59	0.215	0.198	0.231	0.008	● 0.135	26.030	<.0001	● 0.953	● 1.049	
EP7 Nombre de déplacements = 0	-0.215	-0.236	-0.194	0.011	● -0.131	-19.776	<.0001	● 0.587	● 1.704	
EP3a Âge: 40-49	0.117	0.102	0.132	0.008	● 0.080	15.513	<.0001	● 0.958	● 1.044	
EP8 Voudriez-vous participer à d'autres études?	0.046	0.034	0.058	0.006	● 0.045	7.430	<.0001	● 0.707	● 1.414	
EP4 Début de l'entrevue >= 17h	0.039	0.029	0.049	0.005	● 0.038	7.502	<.0001	● 0.982	● 1.018	
EP9 Femme	0.034	0.024	0.044	0.005	● 0.035	6.834	<.0001	● 0.952	● 1.051	
EP5 Internet haute vitesse au domicile	-0.031	-0.045	-0.017	0.007	● -0.023	-4.422	.0001	● 0.975	● 1.025	

\* le q-value est le p-value normalisé sur un échantillon de taille 100:  $q = p \sqrt{\frac{n}{100}}$  (Woolley, 2003)

Figure 25. Modèle de durée d'entrevue pour les enquêtes-personne

### 2.5.6 Conclusion

En utilisant les coefficients standard des deux types d'entrevue (ménage et personne), l'effet relatif de chaque variable sur le modèle peut être estimé. Comme prévu, les variables liées au nombre de déplacements et de segments expliquent une grande partie de la variation de la durée d'entrevue. Les segments en voiture semblent être plus longs à déclarer que les segments

déclarés en transport collectif, mais la différence est presque négligeable (moins de 1 seconde). La taille du ménage, l'âge et l'appareil utilisé sont également significatifs, mais les répondants de moins de 40 ans ne présentent pas de variabilité significative de la durée de l'entrevue lorsque l'âge seul est comparé.

#### *2.5.6.1 Utilisation du modèle*

Le modèle développé sera très utile pour l'administration et le suivi des enquêtes. Avant de mener les entrevues, le modèle aidera à établir les capacités de serveur nécessaires. Dans un environnement de serveurs dans le nuage, le modèle peut s'avérer très utile pour configurer l'équilibrage de charge et choisir le nombre d'instances de serveur requises en temps réel. Les administrateurs pourront détecter les valeurs aberrantes dans les entrevues et agir en conséquence en fournissant une aide en direct aux personnes interrogées ou en résolvant les problèmes de serveur en cas de défaillance technique. Cette gestion précise des ressources peut réduire le coût de la réalisation des enquêtes et réduire la probabilité d'avoir à supprimer ou corriger plusieurs entrevues invalides.

#### *2.5.6.2 Limitations*

Le plus grand défi lors de l'analyse des durées d'entrevues d'enquêtes web est d'obtenir des durées actives précises tout en étant capable de rejeter les durées inactives, par exemple le temps pendant lequel le répondant fait autre chose que de compléter le questionnaire. La solution proposée dans cette modélisation a été de détecter toutes les actions spécifiques qui ont duré plus de 5 minutes et de les corriger en utilisant la durée moyenne de toutes les actions effectuées par le même répondant. Cependant, le seuil de 5 minutes est, dans le cas des enquêtes menées pour cette recherche, très conservateur, et l'effet des durées inactives est encore perceptible si l'en observe le diagramme quantile-quantile pour le modèle basé sur la personne. Sachant cela, des horodatages plus précis sont nécessaires pour distinguer les durées actives et inactives. En fait, la nouvelle version du logiciel d'enquête inclut un nouvel horodatage pour chaque question traitée.

## 2.6 Potentiel des modes actifs

- Contribution de : Hubert Verreault (associé de recherche), Alexis Frappier (ancien étudiant)

### 2.6.1 Introduction

Plusieurs villes sont à la recherche de stratégies afin d'augmenter la part modale des modes actifs et, par le fait même, de réduire les impacts de l'utilisation de l'automobile. Une augmentation de la part de marché des modes actifs peut avoir plusieurs impacts positifs, sur la qualité de l'air et sur la santé par exemple. Néanmoins, il est difficile de prévoir le changement de part modale résultant de l'ajout d'infrastructure et les modèles usuels se concentrent souvent uniquement sur les principaux modes motorisés que sont l'automobile et le transport en commun.

On pourrait supposer qu'il est plus difficile d'augmenter la part modale d'un mode dont le potentiel, à demande constante, est presque déjà atteint. Fixer des cibles de parts modales dans les plans de déplacements demeure un exercice difficile. Développer des méthodes permettant d'estimer le potentiel d'un mode peut aider à déterminer ces cibles ou de moins contribuer à évaluer objectivement une indication de ses possibles parts de marché. À Montréal, en dépit des projets et des stratégies visant à promouvoir le transport actif et l'ajout d'infrastructures en ce sens, les parts modales en 2013 de la marche (10.1%) et du vélo (1.6%) sont relativement faibles par rapport à l'automobile conducteur (54.3%). Dans ce contexte, il semble intéressant de se questionner sur le potentiel de la marche et du vélo. Cette étude propose une méthodologie permettant d'estimer la demande latente de la marche et du vélo en milieu urbain en utilisant les données de l'enquête Origine-Destination (OD). Cette méthodologie s'inscrit en continuité d'anciens travaux déjà publiés sur le potentiel de la marche et du vélo. Néanmoins, des améliorations aux méthodes déjà développées sont proposées afin d'estimer le potentiel combiné des modes actifs (marche et vélo) et non uniquement de façon indépendante. Cette étude s'intéresse donc à la zone de chevauchement où un déplacement se situe à la fois dans le potentiel de la marche et dans celui du vélo. La méthodologie se base sur l'estimation de distances seuils maximales et minimales pour la marche et le vélo ainsi que le développement de différents critères permettant d'identifier si un déplacement est transférable à un ou ces deux modes.

### 2.6.2 Revue de littérature

Tel que mentionné précédemment, les travaux présentés représentent la suite de précédents travaux sur le potentiel de la marche (Morency et al. (2014), Morency et al. (2007), Morency et al. (2011), Morency et al. (2009)) et sur le potentiel du vélo (Godefroy et al. (2012)). Morency et al. (2007) ont premièrement développé une méthodologie afin d'estimer le potentiel de la marche ainsi que le nombre de pas en réserve dans la région de Montréal. Poliquin (2012) a amélioré la méthode en ajoutant le concept de distance seuil par groupe d'âge et genre. Les résultats démontraient que 7.7% des déplacements motorisés en 2008 pouvaient se transférer à la marche. Godefroy et al. (2012) a appliqué une méthodologie similaire au potentiel de la marche afin d'estimer le potentiel du vélo sur l'île de Montréal. Ils ont estimé que 18.2% des déplacements en automobile de 2008 auraient pu se faire en vélo.

Plusieurs autres études proposent des méthodologies afin d'estimer le potentiel de la marche ou du vélo. Posposchil et Mailer (2014) ont analysé l'augmentation de la part modale du vélo à Innsbruck entre 2002 et 2011. Ils ont utilisé une enquête sur les déplacements afin d'estimer les déplacements pouvant s'effectuer en vélo en assumant que l'ensemble des déplacements de moins de 5 km pourrait se faire avec ce mode. Les résultats ont montré que 43% de l'ensemble des déplacements et 35% des déplacements en automobile se situent en deçà de ce critère. Ils

soulignent que malgré l'augmentation observée de la part modale du vélo, il est encore possible de l'augmenter davantage.

Une étude à Londres a estimé le potentiel du vélo (Transport for London, 2010). Les résultats ont montré que 35% des déplacements motorisés peuvent être effectués en vélo. Les critères utilisés s'appuient sur une distance seuil maximale de 1 km pour la marche et une distance maximale de 8 km pour le vélo. De plus, seuls les déplacements des personnes âgées entre 5 et 64 ans peuvent être considérés dans le potentiel. Monzon and Vega (2006) ont présenté une méthodologie afin d'estimer les déplacements transférables en transport en commun et en modes actifs. Les résultats ont montré que respectivement 9%, 11.5% et 13.6% des déplacements en automobile peuvent être transférés à la marche, en vélo et en transport en commun. Les critères utilisés dans la méthodologie incluent une distance seuil de 1.5 km pour la marche et 3.5 km pour le vélo ainsi qu'un âge entre 18 et 50 ans. Mckibbin (2011) a utilisé une enquête sur les préférences déclarées afin d'estimer le potentiel de transfert modal. Ses résultats montrent que 10% de la population serait prête à prendre le vélo et que 33% à marcher à la place de prendre la voiture.

Un des critères importants pour l'estimation des déplacements latents à la marche et en vélo est la distance maximale qu'une personne est prête à parcourir selon le mode (Krizek et al. 2009, Aoun et al., 2015). Plusieurs auteurs proposent des distances maximales et minimales pour les déplacements actifs. L'estimation des déplacements latents pour les modes actifs est souvent basée sur le concept de « petits » déplacements. Cependant, la définition de ce qu'est un « petit » déplacement peut dépendre de la ville et de ses réseaux, des comportements de mobilité de la population et de l'âge et du genre des utilisateurs. Plusieurs auteurs fixent la distance maximale de la marche à 1 km ou 1 mile (Morency et al. (2007), Monzon et Vega (2006), Aoun et al. (2015), Ahrens et al. (2013)). D'autres proposent une distance maximale comprise entre 400 m et 800 m (Iacono et al. (2008), Olszewski et Wlbowo. (2005), Krizek et al (2009)).

Cependant, ces méthodes fixent une distance seuil fixe pour l'ensemble de la population malgré le fait que les enfants et les personnes âgées pourraient avoir des distances seuils plus courtes. Effectivement, certains auteurs proposent des distances seuils qui varient en fonction de l'âge (Panter et al (2008), Kemperman and Timmermans (2009)). Pont et al. (2009) ont montré que les distances seuils des enfants pour aller à l'école devraient être de 1421 m à 10 ans, 1627 m à 11 ans et 3046 m à 14 ans. Nelson et al. (2008) ont estimé que la distance seuil maximale pour les adolescents afin d'aller à l'école à la marche ou en vélo est de moins de 4 km. Van Dyck et al. (2010) ont étudié, en Belgique, la distance maximale qu'un enfant peut faire à la marche et en vélo et arrivent à des résultats de 1.5 km pour des enfants et de 2.4 km pour les adolescents. Chillion et al. (2015) ont étudié les distances entre l'école et le domicile. Leurs résultats montrent que les distances seuils sont inférieures à 1.4 km à 10 ans, 1.6 km à 11 ans et 3 km à 14 ans.

Plusieurs distances seuils pour les déplacements en vélo sont aussi discutées dans la littérature. Des distances seuils entre 5 et 8 km sont souvent utilisés comme distance maximale (Aoun et al. (2015), Ahrens et al. (2013)) tandis que d'autres proposent une distance plus petite telle que 2500 m (Pooley (2011)). Les distances seuils peuvent aussi être différentes en fonction du motif du déplacement (Krizek et al (2009), Iacono et al. (2008)). Il n'est pas rare d'observer des déplacements en vélo de plus de 10 km lorsque les déplacements le sont pour le loisir. Krizek et al (2009) ont aussi démontré qu'il y a habituellement une diminution des déplacements effectués en vélo après 4 km.

Les résultats du potentiel de la marche et du vélo ainsi que des différentes distances seuils varient grandement entre les études. De plus, les résultats entre les différentes études et villes sont difficilement comparables sans l'utilisation d'une méthodologie et des critères de transferts

similaires. La plupart des études estiment le potentiel de la marche et du vélo de façon indépendante. Par conséquent, il est rare d'avoir un potentiel combiné des modes actifs. Effectivement, une proportion des déplacements qui se retrouvent dans le potentiel de la marche peut aussi se retrouver dans le potentiel du vélo. Bien entendu, l'inverse est aussi vrai. Certains auteurs proposent dans leur méthodologie une distance seuil minimale pour le vélo. La distance seuil minimale pour la marche étant toujours de 0 m. Cependant, afin de simplifier la procédure, cette distance seuil minimale pour le vélo correspond à la distance seuil maximale de la marche (Pospischila and Mailera, 2014). Cela permet de s'assurer qu'il n'y a pas de zone de chevauchement dans les distances seuils et que les potentiels estimés pour les modes actifs sont mutuellement exclusifs.

### 2.6.3 Méthodologie

La méthodologie se base principalement sur les données de l'enquête OD de 2013. Elle repose principalement sur l'analyse des déplacements motorisés et sur l'exclusion de certains d'entre eux en fonction de critères. Elle se décline en plusieurs étapes :

1. Extraction des déplacements de l'enquête OD;
2. Estimation des distances seuils en fonction de l'âge et du genre pour la marche et le vélo;
3. Application de certains critères d'exclusion basés sur la distance du déplacement, le motif et la chaîne d'activité afin d'exclure les déplacements ne pouvant être transférables à la marche ou au vélo.
4. Procédure de chevauchement afin de traiter les déplacements qui se retrouvent dans le potentiel de la marche et du vélo.

#### 2.6.3.1 Extraction des déplacements

Afin d'estimer les déplacements latents de la marche et du vélo, l'ensemble des déplacements motorisés sont extraits. 8.2 millions de déplacements sont initialement considérés dans le processus. En plus de ces déplacements, il y a 973 303 déplacements à la marche et 153 001 déplacements en vélo. Ceci correspond respectivement à une part modale de 10.1% et 1.6 %. Ces déplacements ne sont pas inclus dans le processus d'estimation, mais sont utilisés pour l'estimation de différents paramètres. Les chaînes de déplacements des déplacements motorisés sont aussi extraites, car elles sont incluses dans différents critères d'exclusion des déplacements. Une chaîne de déplacements peut être définie comment une séquence de 2 ou plusieurs déplacements effectués par une personne, qui commence et se finit au domicile de la personne. La définition complète des chaînes de déplacements utilisée dans cette étude a été développée par Valiquette et Morency (2010).

#### 2.6.3.2 Distances seuils

Les distances seuils correspondent à la distance maximale et minimale à laquelle un déplacement peut être transférable à un des deux modes actifs. La méthodologie utilisée pour l'estimation des distances seuils se base sur les travaux de Godefroy et al. (2012) et Poliquin (2012). L'estimation du potentiel combiné des modes actifs demande que les distances seuils soient estimées de façon indépendante pour les deux modes. La distance minimale pour la marche est de 0 m tandis que la distance maximale correspond au 80<sup>ième</sup> percentile de la distribution de distances des déplacements à la marche de l'enquête OD. De plus, les distances seuils sont estimées pour différents segments de population basés sur l'âge et le genre. Les segments de population utilisés supposent donc que les capacités physiques des individus varient selon l'âge et le genre et que les personnes à l'intérieur d'une même classe auront les mêmes capacités. On suppose également que les capacités physiques et cognitives varient plus rapidement chez les enfants. En fonction

de cette hypothèse, des groupes d'âge plus petits pour les enfants et plus grands pour les adultes sont utilisés. Pour l'estimation des distances seuils, des distances réseaux ont été estimées à partir d'un réseau piétonnier et cyclable de la région de Montréal. Le Tableau 21 présente les distances seuils estimées pour la marche.

Tableau 21. Distances seuils de la marche selon l'âge et le genre

	Distance réseau (m) 80 <sup>ième</sup> percentile	
	Homme	Femme
5-6 ans	841	881
7-8 ans	931	883
9-10 ans	976	1 020
11-12 ans	1 121	1 100
13-14 ans	1 650	1 516
15-17 ans	1 745	1 689
18-24 ans	1 893	1 810
25-40 ans	1 433	1 270
41-64 ans	1 576	1 461
65 -74 ans	1 482	1 363
75-89 ans	1 199	1 059

Les distances seuils de la marche augmentent jusqu'à 24 ans pour ensuite diminuer. Il est à noter que les personnes âgées entre 41 et 64 ans ont des distances seuils plus élevées que la cohorte précédente. Les distances seuils de femmes sont plus petites que celle des hommes à partir de 11 ans.

Pour les déplacements en vélo, en plus d'une distance seuil maximale, un seuil minimal est estimé. Un déplacement plus petit que ce seuil ne pourra être transféré en vélo. Ce seuil a été fixé à 10<sup>ième</sup> percentile de la distribution des déplacements en vélo. Les groupes sociodémographiques choisis pour le vélo ne sont pas les mêmes que les déplacements à la marche à cause du nombre d'observations en vélo disponible dans les fichiers d'enquêtes. Des groupes d'âge plus grands ont donc été choisis. La segmentation selon le genre reste néanmoins comme variable de segmentation. Le Tableau 22 présente les distances seuils en vélo selon l'âge et le genre.

Tableau 22. Distances seuils du vélo selon l'âge et le genre

	Distance réseau (m)			
	80 <sup>ième</sup> percentile		10 <sup>ième</sup> percentile	
	Homme	Femme	Homme	Femme
5-12 ans	1 762	1 818	372	383
13-17 ans	4 277	4 897	877	1 082
18-40 ans	6 779	6 182	1 147	894
41-64 ans	7 912	5 582	813	756
65-74 ans	5 076	5 251	602	471

Les distances seuils maximales sont plus élevées pour les hommes (5 161 m en moyenne) comparativement aux femmes (4 746 m en moyenne). Cependant, pour les enfants en bas de 18 ans, les distances seuils maximales des hommes sont moins élevées que celles des femmes. Les mêmes observations s'appliquent sur les distances seuils minimales.

### 2.6.3.3 Processus de chevauchement

Le processus de chevauchement se base sur la zone de chevauchement entre les distributions des distances des déplacements marche et vélo. Cette zone se situe entre le 10<sup>ième</sup> percentile de la distribution de distances du vélo et le 80<sup>ième</sup> percentile de la distribution de distances de la marche. Le processus est appliqué seulement si la distance se situe entre les deux bornes précédemment mentionnées.

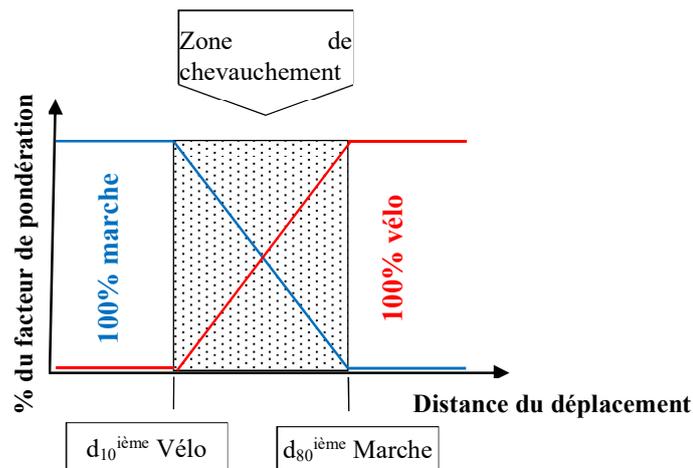


Figure 26. Zone de chevauchement pour les déplacements latents à la marche et en vélo

Un déplacement est divisé de façon proportionnelle en fonction de l'écart entre sa distance et les bornes de la zone de chevauchement. Cette division du déplacement est appliquée en segmentant le facteur de pondération en deux parties, une qui s'appliquera sur les déplacements à la marche et l'autre sur le vélo. Les proportions des facteurs de pondération sont estimées de cette façon.

- Pour chaque déplacement (i), if  $d_{10Vélo} < D_i < d_{80Marche}$  :

- $P_{Marche_i} = \frac{d_{80Marche} - D_i}{d_{80Marche} - d_{10Vélo}} \times W_i$ ;

- $P_{Vélo_i} = \frac{D_i - d_{10Vélo}}{d_{80Marche} - d_{10Vélo}} \times W_i$ .

Où  $D_i$  est la distance du déplacement i,  $W_i$  est le facteur de pondération du déplacement i,  $P_i$  est la partie du facteur de pondération correspondant à la marche ou le vélo,  $d_{80}$  est le 80<sup>ième</sup> percentile de la distribution de distances et  $d_{10}$  est le 10<sup>ième</sup> percentile de la distribution de distances.

### 2.6.3.4 Estimation des déplacements latents à la marche et en vélo

La méthodologie d'estimation des déplacements latents de la marche et du vélo consiste à appliquer une série de critères d'exclusion aux déplacements motorisés. Le résultat comprend l'ensemble des déplacements latents de la marche ou du vélo. Les critères de la marche sont appliqués en premier, suivis de ceux du vélo. Un déplacement ne satisfaisant pas un critère de la marche est automatiquement transféré au processus du vélo.

#### 2.6.3.5 Critères appliqués à la marche

Un déplacement doit passer au travers de tous ces critères pour qu'il soit considéré comme un déplacement latent.

1. Âge de la personne entre 4 et 90 ans;
2. Distance du déplacement plus petite que la distance seuil de la marche;
3. Critères basés sur les chaînes de déplacements :
  - a. Chaque distance de déplacement dans la chaîne doit être plus petite que la distance seuil de la marche;
  - b. La distance totale de la chaîne doit être plus petite que quatre fois la distance seuil de la personne.
4. Critère de chevauchement : Les déplacements qui correspondent à ce critère sont divisés en fonction du processus de chevauchement expliqué précédemment.

#### 2.6.3.6 Critères appliqués au vélo

Un déplacement doit passer au travers de tous ces critères pour qu'il soit considéré comme un déplacement latent.

1. Âge de la personne entre 4 et 75 ans;
2. Distance du déplacement plus petite que la distance seuil du vélo;
3. Critères basés sur les chaînes de déplacements :
  - a. Le motif d'activité pour l'ensemble des déplacements ne doit pas être pour le magasinage ou aller chercher quelqu'un;
  - b. La chaîne de déplacement doit avoir un retour au domicile;
  - c. Chaque distance de déplacement dans la chaîne doit être plus petite que la distance seuil du vélo;
  - d. La distance totale de la chaîne doit être plus petite que quatre fois la distance seuil de la personne.
4. Critère de chevauchement : les déplacements qui correspondent à ce critère sont divisés en fonction du processus de chevauchement expliqué précédemment.

Le critère 3A du processus du vélo par rapport à l'exclusion des déplacements dont le motif est le magasinage peut être considéré trop restrictif. Certains déplacements magasinage peuvent être effectués en vélo sans trop de problèmes. Néanmoins, plusieurs autres ne peuvent être effectués en vélo, car ils demandent de transporter des charges non adaptées à ce mode. Selon l'enquête OD 2013, 6.9% des déplacements en vélo ont comme motif le magasinage. En n'ayant pas accès à une segmentation plus fine du motif magasinage dans les enquêtes, nous supposons que l'ensemble des déplacements magasinage doivent être exclus du potentiel du vélo. De façon similaire, certains déplacements pour le magasinage ne peuvent pas être effectués à la marche. Néanmoins, nous avons supposé que l'ensemble des déplacements magasinage peuvent être considérés dans le potentiel de la marche. Les déplacements magasinage à la marche étant de courtes distances, nous supposons que le magasinage de proximité ne demande pas de transporter des charges trop restrictives. Le critère 3A suppose aussi qu'il est impossible d'aller chercher une personne en vélo. Bien qu'il soit difficile d'être plus qu'une personne sur un vélo à moins que la deuxième personne ne soit un enfant, il est quand même possible d'aller chercher quelqu'un qui a son propre vélo. En 2013, 1.2% des déplacements en vélo avaient un motif aller chercher quelqu'un. Comme nous n'avons pas plus d'informations dans l'enquête pour valider la possibilité de faire de tels déplacements en vélo, nous supposons que les déplacements motif

aller chercher quelqu'un ne sont pas des déplacements latents en vélo. Les critères 2B et 3D qui limitent la distance totale de la chaîne à quatre fois la distance seuil ont été déterminés à partir des comportements observés.

Les déplacements qui rencontrent l'ensemble des critères de la marche, mais pas ceux du vélo, sont directement transférés dans le potentiel de la marche. Tous les déplacements motorisés de la région de Montréal passent au travers du processus illustré à la Figure 27.

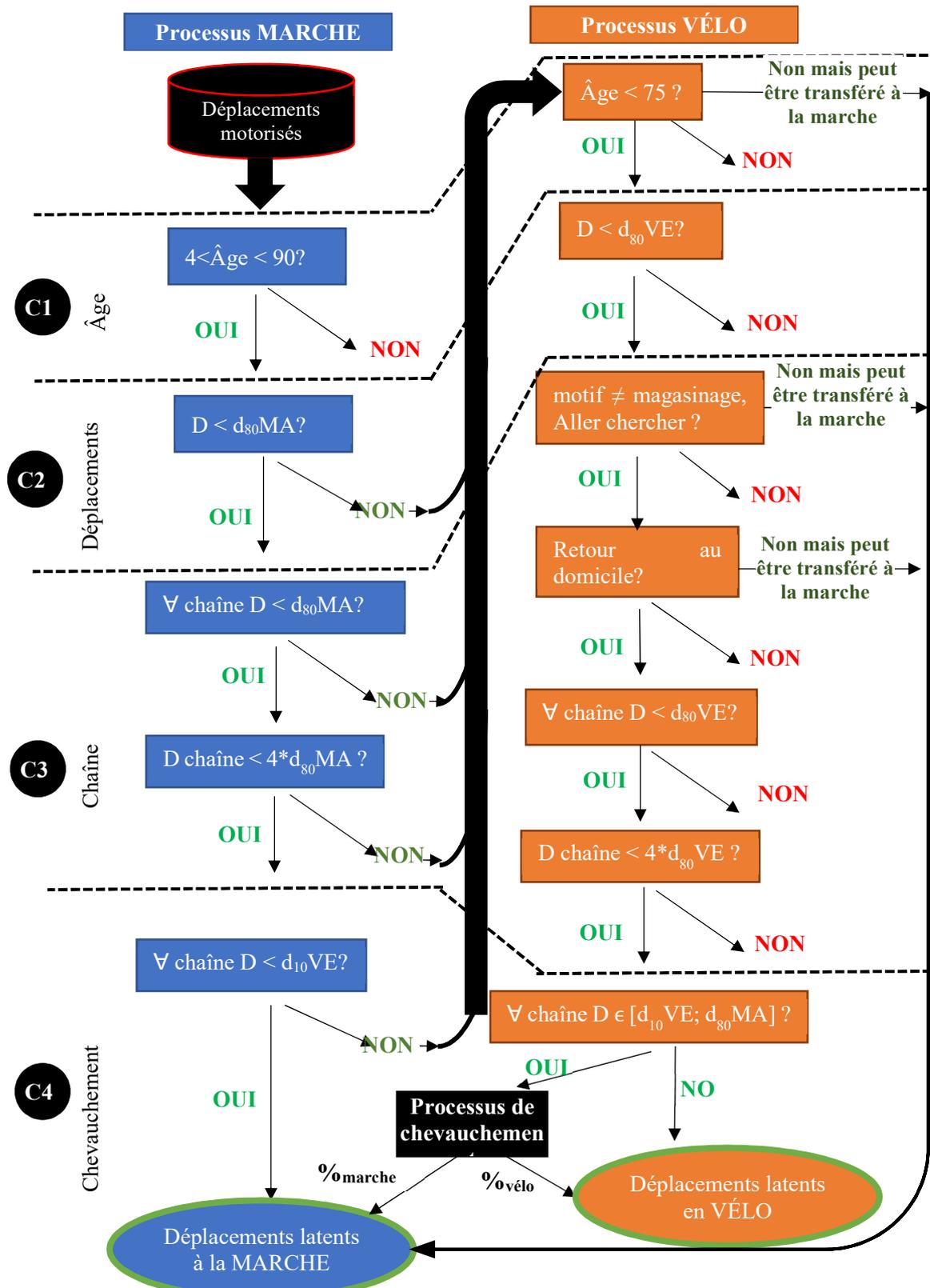


Figure 27. Procédure d'estimation pour les déplacements latents à la marche et en vélo (MA = marche et VE = vélo)

#### 2.6.4 Résultats

Les résultats sont présentés à la Figure 28. 8.26 millions de déplacements motorisés passeront au travers de la procédure de la marche. De ceux-ci, 8.05 millions passeront au travers de celui du vélo. La différence entre ces deux chiffres correspond à l'exclusion des personnes de plus de 90 ans ainsi que les déplacements répondant à l'ensemble des critères de la marche et n'étant pas inclus dans la zone de chevauchement avec le vélo.

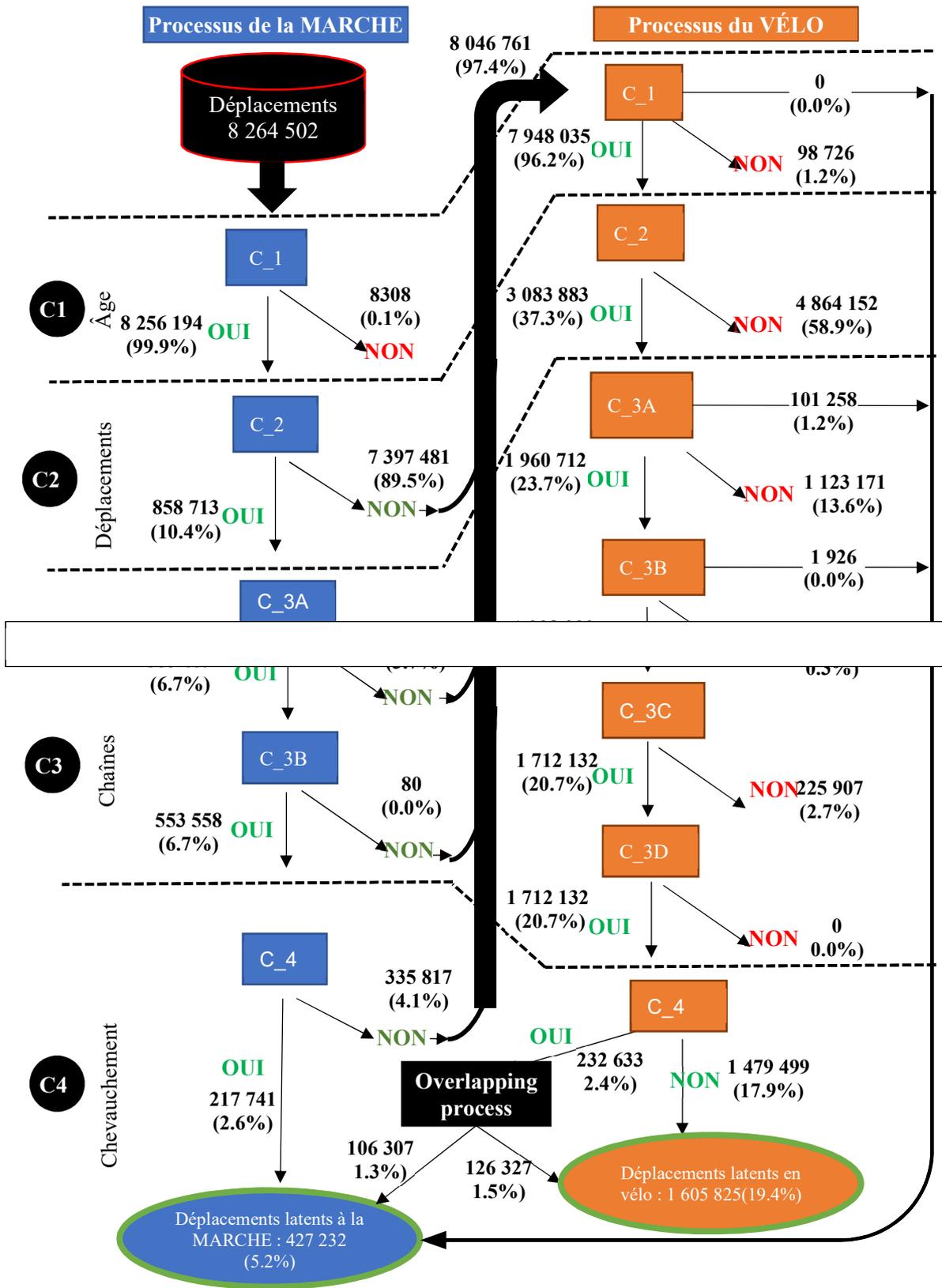


Figure 28. Résultats de la procédure d'estimation des déplacements latents

De l'ensemble des critères d'exclusion, le critère C2, basé sur les distances seuils des déplacements, exclut le plus de déplacements pendant la procédure. Les déplacements exclus à cette étape pour la marche et le vélo comptent respectivement pour 89.5% et 58.9% des déplacements motorisés. De tous les déplacements motorisés, 6.7% peuvent être considérés comme déplacements latents pour la marche. Cependant, 4.1% d'entre eux se situent dans la zone de chevauchement avec le vélo. Les déplacements qui ne satisfont pas les critères du vélo C1, C3A ou C3B, mais rencontrent ceux de la marche, sont comptés directement comme déplacements latents à la marche (1.2% des déplacements motorisés). 2.4% des déplacements respectent les critères de la marche et du vélo et se retrouvent donc dans la procédure de chevauchement. De ceux-ci, 45.7% (106 307 déplacements) sont transférés à la marche et 54.3% (126 327 déplacements) au vélo. Les résultats finaux montrent que 24.6% des déplacements motorisés sont des déplacements latents de la marche ou du vélo. Environ 5.2% ou 427 232 déplacements motorisés peuvent être considérés comme déplacements latents de la marche. Pour le vélo, environ 1 605 825 déplacements ou 19.4% des déplacements motorisés sont des déplacements latents du vélo.

Tous les déplacements latents proviennent des déplacements motorisés. Néanmoins, ils ne sont pas distribués uniformément selon les modes observés. Le Tableau 23 présente la distribution des déplacements latents selon le mode initial observé. La plus grande proportion des déplacements latents provient des déplacements auto-conducteur. Plus de 1.1 millions de déplacements auto-conducteur, à savoir 57.1% de tous les déplacements latents, pourraient sortir du réseau routier si tous les déplacements latents se réalisaient. Le Tableau 23 montre aussi le pourcentage des déplacements latents selon le mode. Un des plus hauts pourcentages correspond au bus scolaire (30.0%). La plupart de ces déplacements ont comme motif l'étude et impliquent habituellement seulement une chaîne simple. On remarque aussi que les pourcentages de déplacements latents à la marche provenant des déplacements auto-conducteurs et auto-passagers sont plus élevés, 5.9% et 7.0% respectivement, comparativement aux autres modes motorisés. Cela peut être expliqué par la grande proportion de déplacements auto-passagers effectués pour l'étude. Ces déplacements impliquent automatiquement un déplacement auto-conducteur en plus du déplacement auto-passager.

Tableau 23. Déplacements latents et pourcentage de ceux-ci selon le mode de transport

Mode	Déplacements latents			Percentage of trips		
	Marche	Vélo	Total	Marche	Vélo	Total
<b>Auto-conducteur</b>	303 667	856 346	1 160 013	5.9%	16.6%	22.5%
<b>Auto-passager</b>	82 620	258 900	341 520	7.0%	22.0%	29.0%
<b>Transport en commun</b>	26 625	366 357	392 983	2.0%	28.0%	30.0%
<b>Bus scolaire</b>	7 573	93 575	101 148	2.2%	26.9%	29.0%
<b>Autres motorisés</b>	6 747	30 646	37 393	2.5%	11.1%	13.6%

Le Tableau 24 présente le pourcentage des déplacements latents en fonction du motif d'activité. Pour la marche, le pourcentage le plus important est pour le motif magasinage. 9.8% des déplacements des déplacements magasinage sont des déplacements latents à la marche. Ce fort pourcentage pour le magasinage peut être expliqué par l'exclusion totale de ces déplacements dans le potentiel du vélo. Par ce fait même, l'ensemble des déplacements magasinage qui satisfont les critères de la marche seront considérés comme déplacements latents de la marche. 21.2 % des déplacements travail sont des déplacements latents aux modes actifs. Ces

déplacements font souvent partie de chaînes plus complexes et plus longues. Le plus haut pourcentage de déplacements latents pour les modes actifs est pour le motif loisir. 4.7% des déplacements loisir peuvent être transférés à la marche et 25.4% en vélo.

Tableau 24. Pourcentage des déplacements latents en fonction du motif d'activités

Motif	Pourcentage des déplacements latents		
	Marche	Vélo	Total
Travail	1.8%	19.3%	21.2%
Étude	4.2%	27.8%	32.0%
Domicile	5.7%	22.0%	27.7%
Loisir	4.7%	25.4%	30.1%
Magasinage	9.8%		9.8%
Autres	6.7%	14.6%	21.3%

Le Tableau 25 présente la part modale des déplacements avant et après l'ajout des déplacements latents. L'ajout de ces déplacements augmente la part modale des déplacements actifs tandis que celle des déplacements motorisés diminue. Effectivement, la part modale de la marche augmente de 10.1% à 14.7% (+4.6%) tandis que celle du vélo augmente de 1.6% à 18.7% (+17.1%). La part modale des déplacements actifs augmente à 33.4% après l'ajout des déplacements latents. Cette part modale est plus grande que la combinaison des déplacements auto-passagers, transport en commun et bus scolaire. La plus grande diminution concerne la part modale des auto-conducteur qui diminue de 54.9% à 42.5% (-12.4%).

Tableau 25. Parts modales des déplacements avant et après l'addition des déplacements latents

Mode	Parts modales	
	Observées dans l'enquête	Incluant les déplacements latents
Auto-conducteur	54.9%	42.5%
Auto-passager	12.5%	8.9%
Transport en commun	14.0%	9.8%
Bus scolaire	3.7%	2.6%
Autres motorisés	2.9%	2.5%
Marche	10.1%	14.7%
Vélo	1.6%	18.7%

La Figure 29 illustre l'impact de l'ajout des déplacements latents sur le nombre de déplacements actifs par personne selon le groupe d'âge et le genre. Le taux global augmente de 0.23 à 0.33 déplacement par personne par jour pour la marche et de 0.04 à 0.41 pour le vélo. Les augmentations pour la marche sont toutes statistiquement significatives pour l'ensemble des groupes d'âge sauf pour les personnes âgées entre 10 et 19 ans où l'augmentation est plus petite. Pour le vélo, il y a aussi des augmentations importantes qui sont observées pour l'ensemble des groupes d'âge sauf pour les personnes âgées de plus de 75 ans où aucun déplacement latent n'est estimé selon notre méthodologie précédemment expliquée. La Figure 29 illustre aussi le

pourcentage de déplacements latents en fonction de l'âge et du genre. Le pourcentage global pour les hommes et les femmes sont similaires (22.1% pour les hommes et 21.2% pour les femmes). Les enfants de 5 à 9 ans ont les plus grandes proportions de déplacements latents avec respectivement 29.2% et 29.3% pour les garçons et les filles. Un important changement de comportement pourrait s'effectuer sur ce segment si les enfants étaient accompagnés de façon active vers l'école plutôt qu'en voiture. Les personnes âgées de 75 ans et plus sont celles avec la plus petite proportion de déplacements latents principalement parce que les déplacements latents en vélo ne sont pas considérés.

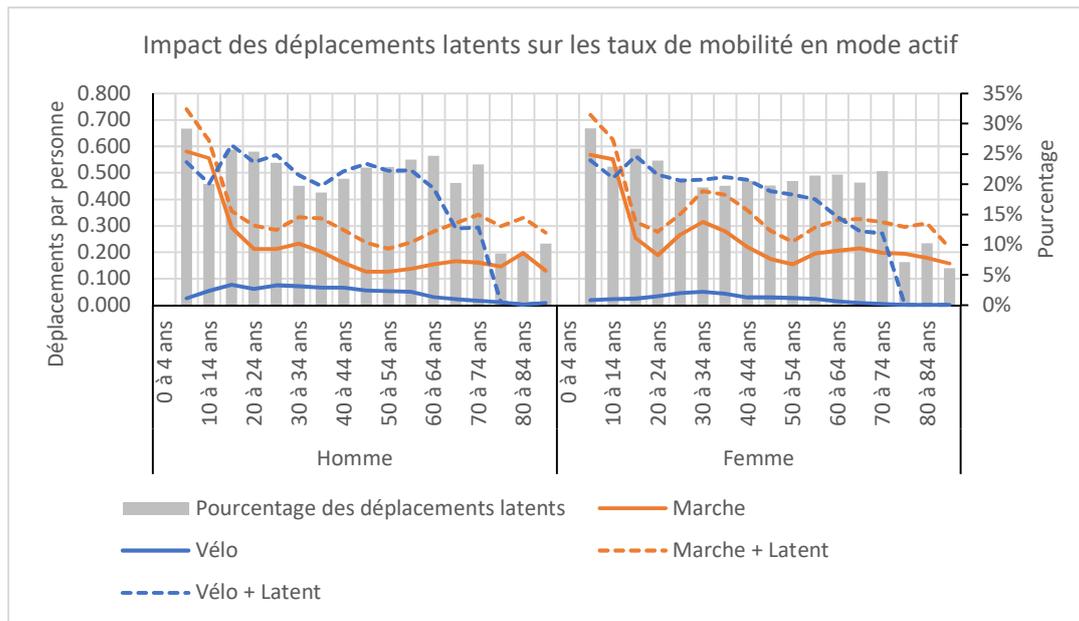


Figure 29. Taux de déplacements à la marche et en vélo par personne avant et après l'addition des déplacements latents

### 2.6.5 Conclusion et perspectives

Cette étude propose une méthodologie afin d'estimer le potentiel de la marche et du vélo dans la mobilité quotidienne. Elle propose aussi une méthode afin de gérer les déplacements motorisés qui se retrouvent à la fois dans le potentiel de la marche et celui du vélo. Cette méthodologie repose sur une procédure d'application de critères d'exclusion sur les déplacements de l'enquête OD 2013 de Montréal et possède l'avantage de pouvoir s'appliquer facilement dans un autre territoire si des données similaires de déplacements existent. Les différents critères d'exclusion sont basés principalement sur les distances réseaux, sur les chaînes ainsi que sur les motifs de déplacements. En utilisant des distances seuils sur l'âge et le genre, les déplacements latents à la marche et en vélo ont pu être estimés. Quelques faits-saillants ressortent :

- 5.2% et 19.4% des déplacements motorisés sont des déplacements latents respectivement pour la marche et le vélo.
- 57.1% des déplacements latents proviennent des déplacements auto-conducteur.
- 2.4% des déplacements respectent l'ensemble des critères pour le potentiel de la marche et du vélo. Ces déplacements sont segmentés en suivant la procédure de chevauchement. 45.7% d'entre eux (1.3% des déplacements totaux) deviennent des déplacements latents à la marche et 54.3% (1.5% des déplacements totaux) le deviennent pour le vélo.

- Lorsque l'on inclut les déplacements latents, les parts modales de la marche et du vélo augmentent respectivement de 10.1% à 14.7% (+4.6%) et de 1.6% à 18.7% (+17.1%) tandis que celle des auto-conducteur diminue de 54.9% à 42.5% (-12.4%).

L'estimation du potentiel peut aider des zones où le potentiel de la marche et du vélo est loin d'être atteint. Une analyse plus détaillée de ces zones pourrait permettre de comprendre pourquoi tant de déplacements latents sont associés à cette zone et quelles seraient les meilleures stratégies afin de favoriser un transfert vers les modes actifs. Dans notre analyse, nous avons estimé que 41.0% du potentiel de la marche et 9.0% de celui du vélo sont actuellement atteints dans la région de Montréal. Ces chiffres ainsi que l'estimation du potentiel peuvent permettre de fixer des priorités et des cibles plus facilement. L'estimation du potentiel peut aussi être un outil intéressant lorsque l'on veut évaluer l'impact de l'ajout d'une nouvelle infrastructure sur les déplacements actifs.

Il y a plusieurs limitations et perspectives par rapport à la méthodologie présentée. Premièrement, l'élévation relative à l'itinéraire des déplacements n'est pas considérée dans le calcul et peut avoir un impact sur la distance que les personnes sont prêtes à faire à la marche et en vélo. Les pentes rencontrées lors d'un trajet augmentent la quantité d'efforts nécessaires et peuvent avoir un impact négatif sur les utilisateurs (Heinen et al., 2010, Parkin et al., 2008). Néanmoins, la pente pourrait être considérée en ajoutant un critère au niveau de l'élévation dans le trajet ou bien en pondérant la distance effectuée en fonction du dénivelé nécessaire au déplacement.

Pour le moment, les analyses permettent d'estimer le potentiel des modes actifs et de déterminer de quel mode motorisé il provient. Néanmoins, il serait aussi intéressant d'analyser l'impact sur les réseaux (piétonniers, cyclistes, routiers, transport en commun) de l'ajout des déplacements latents. Il est possible que les réseaux piétonniers et cyclistes actuels ne soient pas suffisants avec l'ajout des déplacements latents.

Les critères d'exclusion à propos des chaînes de déplacements sont peut-être trop restrictifs dans certaines situations. Pour être un déplacement latent, l'ensemble des déplacements de la chaîne doivent respecter les critères d'exclusion. Cependant, cela néglige les boucles qui se retrouvent à l'intérieur d'une chaîne de déplacements. Par exemple, une personne qui va dîner près de son travail et revient par la suite à son travail pourrait faire ces deux derniers déplacements en mode actifs. La méthodologie devrait être adaptée afin de prendre en considération les boucles à l'intérieur des chaînes. De plus, des modes alternatifs qui sont apparus dans les dernières années peuvent remettre en question certains de ces critères. Effectivement, l'autopartage et le vélopartage pourraient permettre d'utiliser un mode actif uniquement pour un déplacement à l'intérieur d'une chaîne.

## 2.7 Calculateurs de trajets vélos

- Contribution de : Jean-Simon Bourdeau (associé de recherche)

### 2.7.1 Problématique

Comment expliquer que pour une paire origine-destination donnée, dix ou cent cyclistes prendront des chemins différents ? Les facteurs sociodémographiques peuvent sans doute apporter des éléments de réponse, de même que les caractéristiques du trajet emprunté (dénivelé, débit de véhicules, largeur de la chaussée, nombre d'intersections, etc.). Les calculateurs de chemins à vélo ne prennent typiquement pas en considération des éléments qui peuvent sembler fondamentaux dans le choix d'un itinéraire à vélo, comme le dénivelé ou bien le type d'infrastructure, et supposent une vitesse de déplacement identique pour tous les usagers, peu importe où ils sont et où ils se destinent. Le texte qui suit constitue une tentative d'intégration du dénivelé dans le choix d'un trajet à vélo.

### 2.7.2 Méthodologie

#### 2.7.2.1 *Calcul des élévations*

Dans un premier temps, les élévations de tous les liens du réseau OpenStreetMap ont été collectées à l'aide d'une interface de programmation d'application (API) du service geogratis du gouvernement du Canada. Cette API permet d'obtenir, pour une coordonnée en latitude-longitude, son élévation. Ainsi, l'élévation de chaque début et fin de lien du réseau OpenStreetMap dans un rayon de 75 kilomètres du sommet du Mont-Royal a été collectée (à noter qu'il peut y avoir plusieurs liens entre deux intersections).

Les élévations sont disponibles pour la majorité des liens sur le territoire de l'enquête OD 2013, tel que présenté à la Figure 30. Ce territoire couvre la majorité des secteurs municipaux du territoire de l'enquête OD.

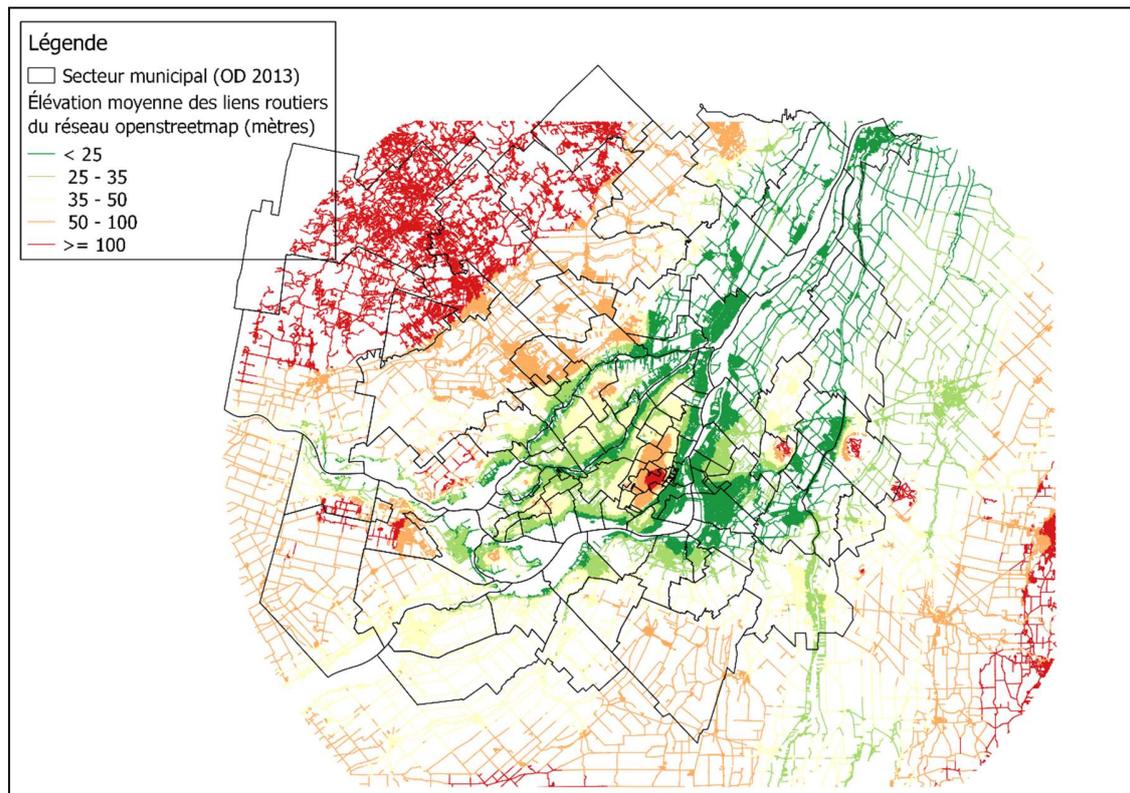


Figure 30. Élévation des liens OpenStreetMap dans la grande région de Montréal

#### 2.7.2.2 Modification des coûts d'emprunts sur les liens

Par défaut, le calculateur de chemins OSRM (<http://project-osrm.org/>) suppose une vitesse en vélo constante de 15 km/h pour tous les liens du réseau, peu importe le type de lien (par exemple s'il y a une piste ou une bande cyclable) ou la pente du lien.

Plusieurs hypothèses ont été utilisées afin de modifier les coûts d'emprunts sur les liens, et des calculateurs de trajet ont été développés:

- Le premier calculateur suppose une vitesse uniforme de 15 km/h pour tous les tronçons du réseau cyclable. C'est ce qui est utilisé par défaut dans OSRM pour les calculs à vélo;
- Le second calculateur se base sur une hypothèse qui suppose qu'un mètre de montée équivaut à 8 mètres de parcours horizontal (Scarf & Grehan, 2005);
- Le troisième calculateur se base sur une classification des pentes selon 4 catégories (1 à 4), selon le dénivelé, à savoir si le tronçon est en petite, moyenne, grande ou très grande pente. Une cinquième catégorie, la catégorie 0, identifie les tronçons qui présentent une pente tellement faible (moins de 1.5 %) qu'ils peuvent être considérés de niveau. La Figure 31 présente les facteurs de modification selon les différents types de pente;
- Le quatrième calculateur est une proposition hybride entre le second et le troisième calculateur :
  - Si la vitesse est supérieure à 15 km/h selon le troisième calculateur, celle-ci est utilisée;

- Si la vitesse du deuxième et du troisième calculateur sont inférieures à 15 km/h, la vitesse qui est utilisée est la moyenne entre le deuxième et le troisième calculateur;
- Si la vitesse du deuxième calculateur est inférieure à 15 km/h et celle du troisième calculateur est supérieure ou égale à 15 km/h, la vitesse qui est utilisée est celle du deuxième calculateur.

La principale différence entre le deuxième et le troisième calculateur est la suivante : le deuxième calculateur modifie seulement les temps de parcours dans les montées, alors que le troisième calculateur modifie les temps de parcours en montée et en descente, mais d'une manière différente. En effet, en présence de pentes de moins de 6 %, les temps de parcours sont augmentés dans les montées et diminués dans les descentes, alors que pour les pentes de plus de 6 %, les temps de parcours sont augmentés pour les montées ainsi que pour les descentes. Le quatrième calculateur, quant à lui, modifie les vitesses dans les descentes de la même manière que le troisième calculateur, et dans les montées, il est à mi-chemin entre le deuxième et le troisième calculateur.

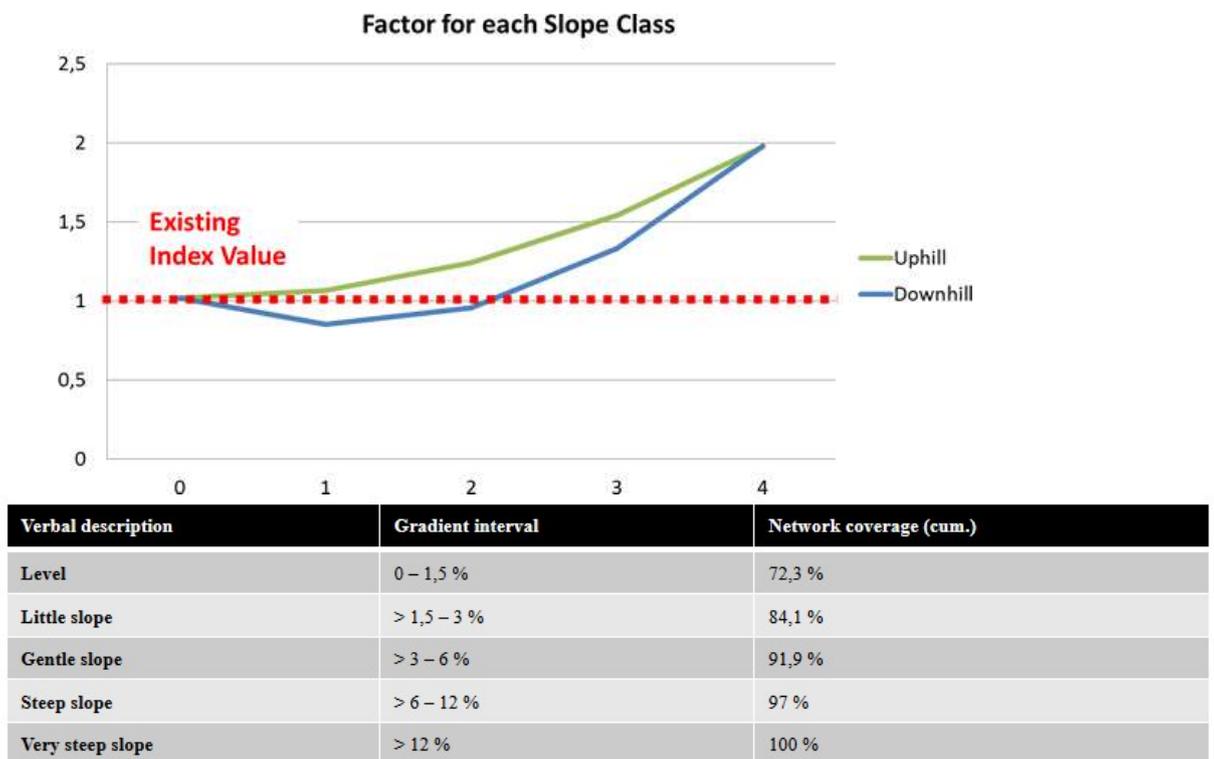


Figure 31. Facteurs de modification selon les différents intervalles de pentes pour les réseaux cyclables (<https://qicycle.wordpress.com/2014/06/12/slope-and-routing/>)

### 2.7.3 Comparaison des trajets calculés avec les trajets observés dans l'application MontréalTrajet

Afin de confronter les calculateurs avec des données réelles, des données GPS de déplacements faits à vélo ont été mises à contribution afin de voir si les itinéraires réellement effectués sont similaires à ceux calculés. Les données sont celles de l'application MontréalTrajet collectées à l'automne 2016 et disponibles sur le portail de données ouvertes de la Ville de Montréal (<http://donnees.ville.montreal.qc.ca/dataset/mtl-trajet>). Aussi, afin d'enlever les déplacements

en boucle, les déplacements dont la tortuosité est supérieure à 2.0 ont été supprimés. La répartition des déplacements selon le motif de déplacement tel que défini par l'utilisateur de l'application est présentée au Tableau 26.

Tableau 26. Déplacements faits dans l'application MontréalTrajet en vélo

Motif	Nombre de déplacements à vélo
Déposer / Ramasser	53
Éducation	164
Loisir	339
Magasinage / Commission	138
Repas / collation /café	96
Retour à la maison	1 092
Réunion pour le travail	49
Santé	659
Travail	1 052

Afin d'évaluer la similitude entre les trajets calculés et les traces GPS de l'application, le pourcentage de chevauchement a été calculé. Étant donné que les points GPS peuvent avoir une certaine imprécision, le pourcentage de chevauchement a été estimé en calculant le pourcentage de longueur de la trace GPS qui se trouve à une distance de moins de 15 mètres du chemin le plus court calculé, que ce soit avec ou sans prise en compte des pentes. Le résultat est présenté à la Figure 32. Les distributions du premier, troisième et quatrième calculateur sont assez similaires, alors que la distribution du deuxième calculateur est assez différente des autres distributions.

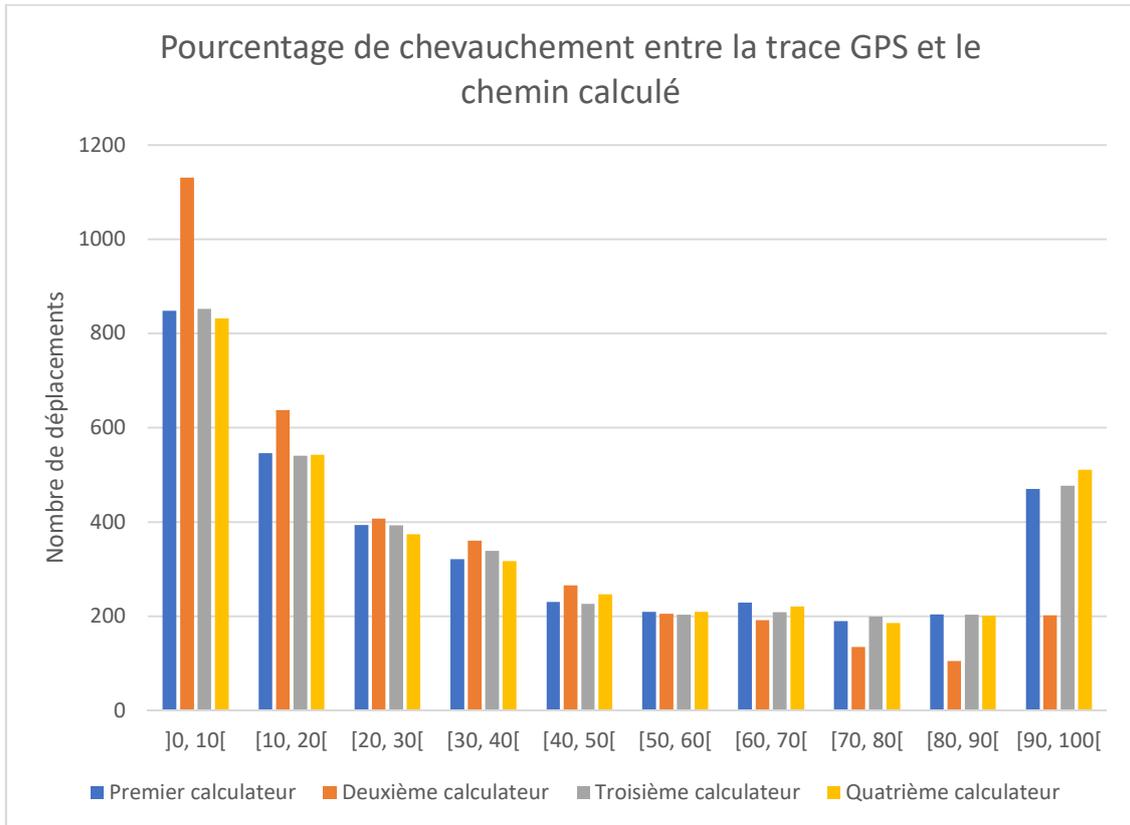


Figure 32. Pourcentage de chevauchement entre la trace GPS et le chemin calculé

Le pourcentage de chevauchement peut donc sembler plus faible avec le deuxième calculateur. Cependant, il s'agit d'un indicateur parmi tant d'autres. Des distributions des distances de déplacement ont aussi été faites et sont présentées à la Figure 33. La distribution des distances de déplacement du deuxième calculateur est très similaire avec la distribution des distances de déplacements des traces GPS.

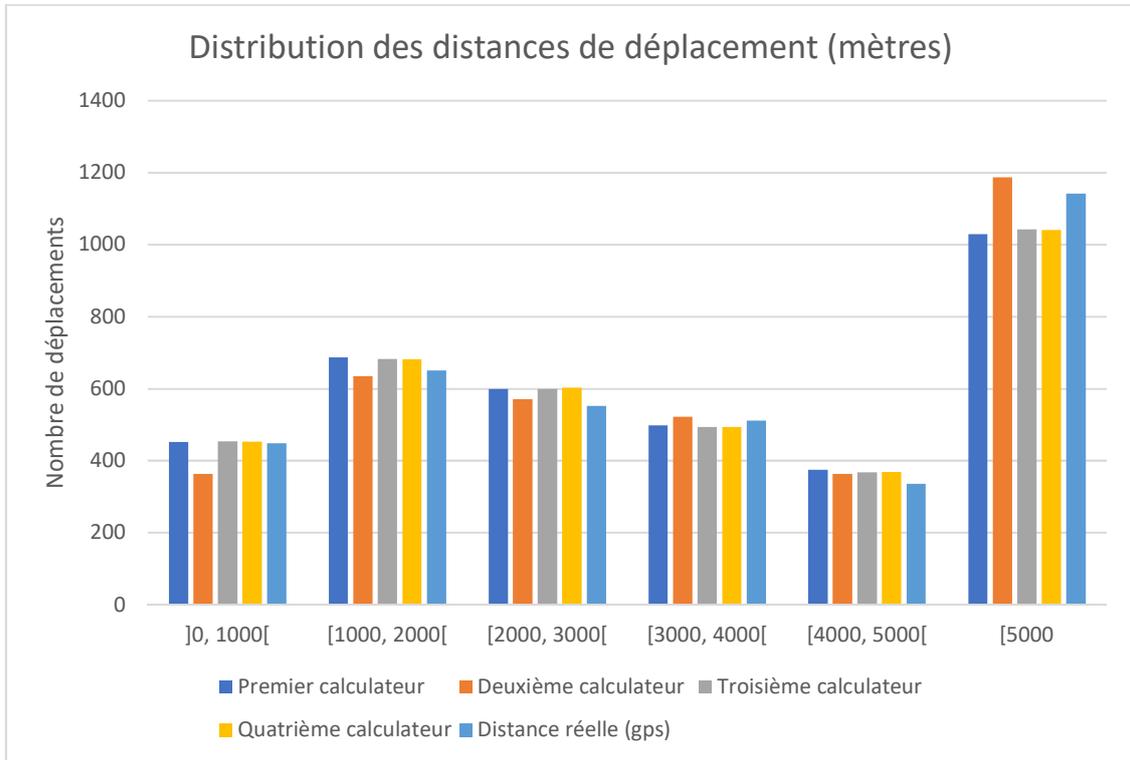


Figure 33. Distribution des distances de déplacement (mètres)

#### 2.7.4 Travaux en cours

Actuellement, les travaux en cours portent sur l'intégration du type de lien dans le calcul de chemin à vélo. Ainsi, un lien comportant une bande cyclable ou une piste cyclable serait jugé plus attractif. Des travaux ont déjà été réalisés sur la perception du temps passé sur différentes infrastructures cyclables et pourront être mis à contribution. Dans un article sur les facteurs ayant une influence sur la pratique du vélo, le type d'infrastructure est ressorti. Pour le cycliste type, 1 minutes de vélo dans la circulation mixte (avec des voitures) équivaut à 4.1 minutes sur un bande cyclable (avec séparation physique) ou 2.8 minutes sur une piste cyclable (Hunt et Abraham, 2007).

## 2.8 Mesure de l'équité des systèmes de transport

- Par : Charles Michaud, étudiant à la maîtrise
- Début : septembre 2017
- Supervision : Pre Catherine Morency
- Contexte : Chaire Mobilité

### 2.8.1 Objectif

Ce projet vise à contribuer au développement d'outils de diagnostic des systèmes de mobilité en milieu urbain, en s'attardant en particulier à la qualité, la diversité, l'équité et la viabilité de ces systèmes. Des travaux antérieurs ont déjà permis le développement d'indicateurs relatifs à la qualité et la diversité de la desserte en transport collectif (Frappier, 2015). Le projet proposé ici s'inscrit en continuité de ces connaissances et vise les intégrer au sein d'un nouvel indicateur plus englobant qui tiendra également compte de la notion d'équité sociale, ce qui ferait intervenir divers concepts autant liés au domaine du génie civil qu'à l'urbanisme ou au développement social.

Initialement, la recherche sera circonscrite à la sphère du transport collectif, ce qui n'exclut en aucun cas que la démarche puisse être adaptée à l'ensemble des réseaux de transport par la suite. L'indicateur appelé à être développé fera intervenir plusieurs concepts relatifs à la notion d'équité en transport. En ce sens, le principe d'accessibilité aux opportunités constitue un élément incontournable, puisque c'est en accédant à diverses activités par l'intermédiaire d'un réseau de transport qu'un individu peut aspirer à un meilleur statut social. À cet égard, il importera de moduler l'impact de la présence d'une desserte en transport collectif en fonction de l'intensité d'exposition des individus, cette dernière variant grandement selon la fréquence de service, ce qui affecte de toute évidence l'accessibilité réelle. Plus est-il, la notion d'équité étant du registre des enjeux sociaux, il sera pertinent de considérer les caractéristiques socioéconomiques des individus dans le développement de l'indicateur global d'équité d'une offre de transport. Ainsi, il sera tout indiqué d'effectuer une segmentation de la population afin de mettre en lumière les écarts entre les divers sous-groupes. Le budget transport des ménages ainsi que leur capacité de payer interviendront également, puisque la présence d'une desserte de transport n'est pas implicitement garante d'accessibilité si les individus ne sont pas en mesure d'acquitter les frais relatifs à certains déplacements.

La demande observée, soit celle mesurée grâce aux enquêtes de mobilité (Enquête Origine-Destination) et aux données passives (transactions, GPS), constituera une des bases de l'analyse. Les déplacements en transport collectif étant fortement contraints par l'étendue limitée du réseau et de son offre, il s'avèrera indispensable d'intégrer un volet associé à la demande latente, relative aux déplacements qui n'ont pu se concrétiser faute d'une offre adéquate. L'évaluation des besoins non assouvis en transport constitue à cet égard une composante majeure du présent projet de recherche. Ceux-ci seront évalués à partir d'un panier de biens et services (à définir) auxquels tout individu devrait en théorie avoir accès, ainsi qu'en comparant les caractéristiques inhérentes à la mobilité des divers sous-groupes de population en regard de leurs caractéristiques sociodémographiques.

### 2.8.2 Aperçu des connaissances

La littérature relative au principe d'équité en transport est abondante, mais repose pour le moment essentiellement sur des concepts théoriques. La littérature faisant état de leur application dans l'univers du concret gagnerait à être bonifiée, ce que propose le présent projet de recherche.

Selon le contexte d'analyse, la notion d'équité peut se décliner de plusieurs manières. Dans l'article *Using connectivity for measuring equity in transit provision* (2014), Kaplan fait notamment intervenir l'équité verticale, horizontale, intergénérationnelle et spatiale dans son évaluation d'une offre de transport collectif. Il importera donc de définir, dans le cadre du présent projet de recherche, le ou les types d'équité pertinents à l'indicateur devant être développé. L'article de Kaplan, qui s'inscrit en phase avec les objectifs de cette démarche, fait intervenir la notion d'accessibilité, qui peut également porter à confusion en cela qu'elle peut faire référence autant à l'accessibilité universelle qu'à la connectivité dont bénéficient les individus relativement à des opportunités.

Dans son rapport intitulé *Evaluating Transportation Equity* (2017), Todd Litman passe en revue les divers types d'analyse permettant de mesurer le niveau d'équité de l'offre de transport sur un territoire, en faisant intervenir notamment les notions d'équité horizontale et verticale. Le chercheur met en évidence l'importance des réseaux de transport collectif relativement à l'égalité des chances des individus, en particulier ceux issus de milieux défavorisés, pour qui la présence d'une telle offre constitue un levier d'ascension sociale. L'auteur mentionne aussi l'iniquité affectant les ménages sans voiture, surtout en vertu du paradigme actuel qui tend à favoriser les investissements visant le désengorgement des axes majeurs par rapport à des interventions ayant pour effet d'accroître l'accessibilité aux lieux d'activités pour les ménages non motorisés.

L'article *Understanding the relationship between changes in accessibility to jobs, income and unemployment in Toronto, Canada* (Deboosere et al., 2017) fait la démonstration d'une méthode visant à mesurer l'équité verticale de la desserte de transport collectif dans une région métropolitaine. Faisant intervenir la notion d'accessibilité aux emplois pour les populations à faible revenu, il sera pertinent de s'inspirer de l'approche adoptée par ces chercheurs.

Dans leur recherche intitulée *Transport Equity Analysis*, Di Ciommo et Shiftan (2017) font la recension de divers critères permettant la segmentation des groupes de population en termes de mobilité, étape incontournable dans le développement d'indicateurs d'équité. Dans un autre ordre d'idées, un article de l'Université de Memphis intitulé *Equity Metrics in Public Transit : Case Study in Tennessee* (2017) se penche sur les disparités de service entre les diverses zones d'analyse d'une région métropolitaine quant à l'accessibilité, en croisant les résultats avec des caractéristiques socioéconomiques macroscopiques. La démarche s'avère hautement inspirante dans le contexte de développement de l'indicateur d'équité et une partie de la méthode employée par les chercheurs pourrait s'avérer pertinente à ma propre démarche.

### 2.8.3 Méthode générale

La segmentation de la population en de multiples sous-groupes selon des critères relatifs à l'âge, au genre, au revenu, à la structure du ménage et au modèle d'activités constituera une étape incontournable du processus. Les données issues du recensement 2016 de Statistique Canada permettront cette segmentation. Par ailleurs, la demande observée sera établie à partir de l'Enquête Origine-Destination 2013 ainsi qu'à travers des données passives issues de comptages et de cartes à puce. L'offre de transport et l'exposition résultante des individus seront quant à elle établies grâce à des fichiers de type GTFS (*General Transit Feed Specification*), et ce, pour l'ensemble du territoire de la région de Montréal. La mesure de l'équité, finalement, se fera sur la base d'indicateurs reconnus tels que le coefficient de Gini ou l'indice de Pampalon. La méthode préconisée consistera à croiser les données afin de faire émerger un diagnostic clair de l'équité en transport, qui variera à la fois spatialement au sein du territoire ainsi qu'entre les strates de population considérées.

Dans la foulée du processus de développement et de perfectionnement de l'indicateur d'équité, le logiciel *Transition* sera employé, notamment au chapitre de l'évaluation de divers scénarios sous forme d'études de cas. L'emploi d'un système d'information géographique (SIG) facilitera alors la visualisation des résultats, permettant ainsi une meilleure diffusion des résultats issus de l'application de l'indicateur.

#### 2.8.4 Résultats escomptés

L'accès à une variété d'opportunités constitue un facteur déterminant dans l'ascension sociale, d'où l'importance de planifier les services de transport collectif dans une optique d'égalité des chances, du moins en théorie. Dans la pratique, il est possible d'émettre l'hypothèse que tous ne sont pas égaux en termes d'accessibilité aux activités. Par ailleurs, tous les segments de population devraient bénéficier d'un niveau de service équivalent pour un même prix payé. En ce sens, l'indicateur qui sera développé dans le cadre du présent projet de recherche appuiera le diagnostic efficace d'un système de transport collectif en ce qui a trait à la l'équité de sa desserte, et ce, grâce à la fusion au sein d'un seul modèle de concepts divers tels que l'accessibilité, l'exposition au service et la capacité de payer des individus.

Un tel outil permettra de mettre en lumière les lacunes au niveau de l'offre de transport ce qui facilitera ensuite la priorisation des interventions pour les sociétés de transport en élargissant la perspective des preneurs de décision. Ces indicateurs trouveront également une utilité dans l'estimation des retombées sociales de projets de transport.

## 2.9 Partage des espaces-temps urbains

- Par : Gabriel Lefebvre-Ropars, doctorant
- Début: Septembre 2017
- Supervision : Pre Catherine Morency, Pre Paula Negron-Poblete
- Contexte : Chaire Mobilité

### 2.9.1 Introduction

De plus en plus de documents de planification, au Québec et ailleurs, contiennent des objectifs relatifs à l'amélioration du partage de l'espace urbain entre les usagers de divers modes de transport (piétons, cyclistes, usagers du transport collectif, automobilistes, etc.). On peut citer par exemple la Stratégie centre-ville de Montréal (Ville de Montréal, 2008) ou encore la Stratégie de mobilité urbaine de Stockholm (City of Stockholm, 2012). Toutefois, peu d'indicateurs de suivi et de mesure des résultats sont proposés pour assurer la mise en œuvre de ces objectifs. Le partage de l'espace – et du temps – urbain reste en effet un concept difficile à saisir, définir et mesurer.

L'espace public urbain (les rues et les intersections) est divisé en plusieurs sous-espaces alloués à diverses clientèles. Par exemple, une rue donnée peut compter des trottoirs pour accueillir les piétons, des voies réservées aux autobus et des voies de circulation générale pour accueillir l'ensemble des autres modes de transport. Le partage de l'espace urbain est aussi lié à la dimension temporelle : il varie selon l'heure de la journée (avec des voies réservées en période de pointe seulement, par exemple), en plus d'être également influencé par les débits maximaux imposés par les feux de circulation aux intersections. Ce partage de l'espace-temps urbain est le produit d'un arbitrage politique, administratif et technique entre les divers modes, arbitrage soutenu par des principes implicites ou explicites d'équité et d'accessibilité (Patton, 2007; Martens, 2017).

Hui, Saxe, Roorda, Hess et Miller (2018) soulignent qu'il n'existe nulle part de mesures à grande échelle pour étudier le caractère équitable de ce partage et ses effets sur l'accessibilité, alors même que les pouvoirs publics investissent des sommes colossales dans le réaménagement des infrastructures urbaines dans le but d'en améliorer le partage. Quelques méthodes ont été proposées, mais toutes ces méthodes dépendent d'une analyse réalisée sur le terrain (Hampton, 2013) ou encore d'une classification manuelle des voies de circulation à l'aide de photos satellites (Colville-Andersen, 2013; Gössling, Schröder, Späth, & Freytag, 2016). Il n'existe ainsi, à l'heure actuelle, aucune manière automatisée pour effectuer le diagnostic du partage de l'espace et du temps urbain à l'échelle d'une ville en intégrant la demande existante et potentielle.

### 2.9.2 Objectifs

Le projet de recherche vise à répondre à la question suivante : l'espace-temps urbain (dans la région de Montréal, en l'occurrence) est-il réparti de manière équitable entre tous les usagers? L'objectif général du projet est ainsi de développer des outils d'évaluation de l'équité dans l'allocation de l'espace-temps urbain alloué à chaque mode de transport en milieu urbain. Les objectifs spécifiques de recherche sont les suivants :

1. Élaborer un cadre conceptuel du partage équitable de l'espace-temps urbain;
2. Développer des indicateurs d'équité du partage de l'espace-temps urbain;
3. Développer un outil automatisé de mesure de l'allocation de l'espace-temps urbain en milieu urbain à partir de bases de données existantes;

4. Poser un diagnostic de l'équité du partage de l'espace-temps urbain sur le territoire et de son effet sur l'accessibilité des personnes et des lieux en croisant les données d'offre et de demande en transport.

### 2.9.3 Méthodologie générale

Une revue de la littérature scientifique dans les domaines du génie des transports, de la géographie des transports et de l'urbanisme permettra tout d'abord de développer un modèle conceptuel de l'espace-temps urbain et d'identifier des indicateurs d'équité applicables au partage de l'espace-temps urbain. En parallèle, les jeux de données existants sur le territoire d'étude, c'est-à-dire le territoire de la Ville de Montréal, seront intégrés à un système d'information géographique (SIG) afin de permettre leur croisement ainsi que la représentation de l'offre intégrée de transport pour tous les modes.

L'allocation de l'espace-temps urbain sera ensuite mesurée à l'aide de cette base de données géoréférencée. Les données sur la demande en transport, c'est-à-dire le nombre (observé ou potentiel) d'usagers par mode de transport sur le réseau, seront par la suite croisées à l'offre de transport pour déterminer l'intensité d'utilisation des infrastructures de transport selon le mode. Des indicateurs d'équité seront finalement calculés pour effectuer le diagnostic du partage de l'espace-temps urbain à l'échelle de la ville de Montréal. Ce diagnostic sera illustré à l'aide d'un outil interactif de visualisation de données.

## 2.10 Démarche Code de la rue

- Par : Jean-François Bruneau, Ph.D.
- Doctorat complété en décembre 2017
- Supervision : Pre Catherine Morency
- Contexte : projet de recherche financé par le MTMDET
- Source : Bruneau, Jean-François, Morency, Catherine (2016). Évaluation du potentiel d'application d'une démarche « Code de la rue » pour le Québec et identification des enjeux et stratégies liés à sa mise en œuvre, Rapport final, Étude réalisée pour le compte du Ministère des transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, projet R703.1, 465 pages. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1192646.pdf>

### 2.10.1 Introduction

La démarche « Code de la rue », initiée en Belgique en 2004) et introduite en France en 2008, prône une réduction des vitesses et du transit dans les secteurs sensibles par des aménagements adaptés, notamment des zones 30 et des zones de rencontre. Le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET) a mandaté Polytechnique Montréal pour faire une étude complète à ce sujet : « [Évaluation du potentiel d'application d'une démarche « Code de la rue » pour le Québec et identification des enjeux et stratégies liés à sa mise en œuvre](#) » (Bruneau et Morency, 2016). Dans ce projet, l'applicabilité du concept de zone de rencontre ou de la « zone à priorité piétonne » (ZAPP) s'est avéré préoccupant pour les autorités gouvernementales et municipales, parce que ce concept n'existe pas en Amérique et qu'il est peu documenté, notamment à l'égard de la sécurité des piétons.

Pour faire le point sur les aspects de sécurité et de mobilité et pour tenter de vérifier l'applicabilité du concept au Québec, une thèse de doctorat a été consacrée aux ZAPP. La principale contribution méthodologique de cette thèse a été l'élaboration d'une procédure de consultation et d'analyse unique, ayant permis à des Québécoises et des Québécois non-initiés, de comprendre un concept d'outre-mer, afin qu'ils se prononcent sur son applicabilité au Québec. La principale contribution analytique fût le constat qu'il est possible d'observer d'importants changements de perception sur un concept de circulation en présentant des exemples réels, documentés et appuyés d'historique, de données et de vidéos.

#### 2.10.1.1 Cadre conceptuel

La ZAPP est une section ou un ensemble de rues, délimitée par des panneaux indiquant l'entrée et la sortie de la zone et à l'intérieur de laquelle le piéton a priorité absolue. L'intérieur des ZAPP s'apparente souvent à une route nue ou un shared space, puisqu'on y retrouve aucune marque au sol, ni signalisation. Il y a généralement absence de trottoir et l'infrastructure est à niveau, de sorte que les piétons peuvent l'utiliser sur la pleine largeur et traverser à tout moment (Figure 34).

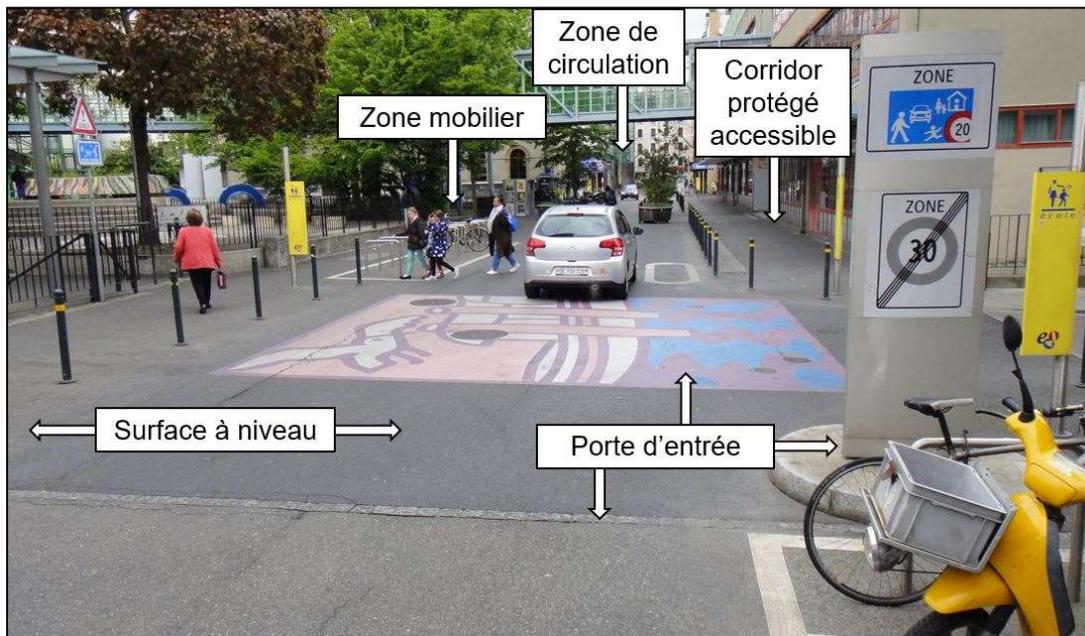


Figure 34. Les cinq caractéristiques des ZAPP (zone de rencontre à Genève, Suisse)

Toutefois, à l’instar des shared spaces, qui ne sont pas réglementés, la ZAPP possède des règles de circulation bien précises : priorité absolue du piéton sur les conducteurs de véhicule et vitesse limitée à 20 km/h. La ZAPP est comme un immense passage pour piétons, sans les marques au sol. C’est un dispositif de contrôle de la circulation tout comme l’arrêt ou le feu de circulation.

La ZAPP peut être observée en secteur résidentiel ou en milieu achalandé, dans les rues commerçantes, les centres-villes et les lieux touristiques. Si la ZAPP requiert une forte concentration de piétons, le seuil du volume de véhicules critique est souvent questionné. Le ratio piétons/véhicules peut également conditionner la sécurité à l’intérieur de la ZAPP, provoquer de la congestion ou encore influencer la tendance des conducteurs à vouloir dominer l’espace public, malgré la priorité accordée aux piétons. Les interactions et les conflits légers servent de mécanisme de contrôle et agissent comme une clé du bon fonctionnement des ZAPP. Elles apparaissent donc dangereuses pour certains, mais à l’heure actuelle, il n’y a pas d’évidence que les ZAPP génèrent davantage de conflits graves, de collisions et de blessures qu’un design de rue traditionnel. Dans la majorité des réalisations, la ZAPP réduit la vitesse pratiquée par les conducteurs et amoindrit les mouvements de type arrêt-départ, ce qui contribue à une fluidité plus constante et plus lente. La ZAPP diminue généralement le volume de véhicules d’une rue et elle accroît l’attractivité de la rue et le volume piétonnier. Elle contribue à diversifier les trajectoires piétonnes, plus directes entre deux points origine-destination, ainsi que le nombre de traversées.

### 2.10.2 Contributions méthodologiques

Cinq volets méthodologiques ont été réalisés en réponse à l’objectif général de la thèse, qui consiste à évaluer le potentiel d’application du concept de ZAPP au Québec (Figure 35).

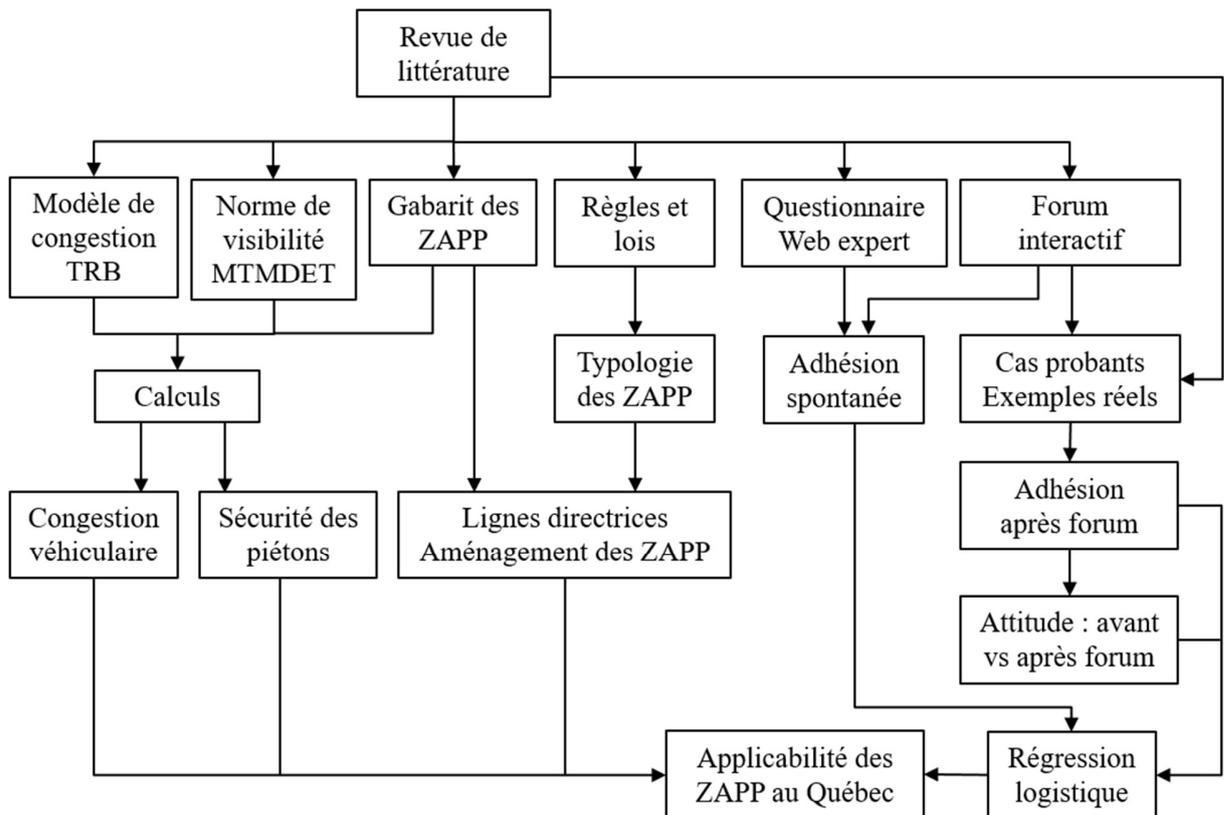


Figure 35. Méthodologie de consultation du projet

La première activité, la revue de littérature, a permis d’élaborer la typologie des ZAPP, d’identifier les paramètres clés pour la sécurité des piétons, le risque de congestion en ZAPP, ainsi que les bonnes pratiques et les lignes directrices d’aménagement. Les publications répertoriées ont permis de développer des modèles théoriques pour estimer les requis en termes de distance de visibilité d’arrêt, en contexte de vitesse réduite, ainsi que la congestion potentielle en ZAPP par simulation des volumes de véhicules et de piétons.

Découlant de la revue de littérature et de conseils d’experts, des cas probants ont été identifiés (Figure 36). Il s’agit d’exemples de réalisations documentés (ex. : configuration routière, accidents et vitesses avant et après aménagement) et visités sur le terrain, en compagnie d’ingénieurs et d’aménagistes. Parmi ces exemples, il y a trois ZAPP allemandes (Duisburg, Speyer et Brühl), ainsi que trois bandes centrales polyvalentes. Deux sont suisses (Thun et Köniz) et une est allemande (Ulm), mais les trois impliquant une forme de priorité piétonne relative, non absolue, dictée par l’aménagement et non par la réglementation. Ces cas probants et les constats issus de la littérature ont inspiré l’élaboration d’un questionnaire et d’un forum de discussion.

Dix-huit forums de 3 heures ont été réalisés dans 14 villes de tailles variées (village, petite et moyenne villes, métropole). Le même modérateur (doctorant) a rencontré 350 intervenants en petits groupes, des professionnels et des usagers de la route issus de tous les domaines (ex. : ingénieur, urbaniste, architecte, policier, usager avec limitation visuelle, auditive ou motrice, représentant d’association cycliste, personne âgée, gestionnaire de transport collectif, élu, chercheur, étudiant). Le forum, encadré par une présentation interactive, amenait les participants à voter à l’aide d’une carte réponse. Les participants devaient répondre à plusieurs questions

générales et spécifique aux cas probants et ils se sont prononcés sur l'applicabilité de neuf aspects caractéristiques des ZAPP.

L'adhésion à ces neuf aspects a été mesurée en deux temps, avant et après le forum, ce qui a permis de chiffrer l'écart de perception et de combiner les paires de réponses afin d'établir trois modèles de perception : sceptique (non-non), converti (non-oui) et enthousiaste (oui-oui). Des modèles de régression logistique ont été développés pour évaluer l'applicabilité des composantes de la ZAPP selon les résultats obtenus dans le questionnaire, avant et après le forum, ainsi que pour l'attitude des participants.

En parallèle aux forums, un questionnaire spécifique aux mesures d'intervention et aux infrastructures sécuritaires a été rempli sur le Web par 236 experts en circulation et en sécurité. Ce questionnaire comportait les mêmes neuf questions sur l'applicabilité qui ont été posées lors du forum, donnant un point de comparaison pour évaluer la perception d'applicabilité des ZAPP.

Cette thèse a permis de démontrer qu'il est possible d'estimer l'applicabilité d'un concept outre-mer, même s'il est absent de toute législation nord-américaine. Au départ, il n'était pas prévu que la méthode d'évaluation allait donner des résultats similaires d'un forum à l'autre, tout au long de la consultation. S'il a été possible de vérifier l'applicabilité du concept de ZAPP, c'est en partie grâce aux sources de données multiples (questionnaire Web et forum) et parce que l'expérience du forum a été répétée de nombreuses fois. La composition hétérogène des forums a également contribué à la démonstration de l'applicabilité du concept. En ce sens, il s'est avéré bénéfique d'impliquer non seulement les experts, mais aussi les porte-paroles du milieu associatif et différents types d'utilisateurs de la route.

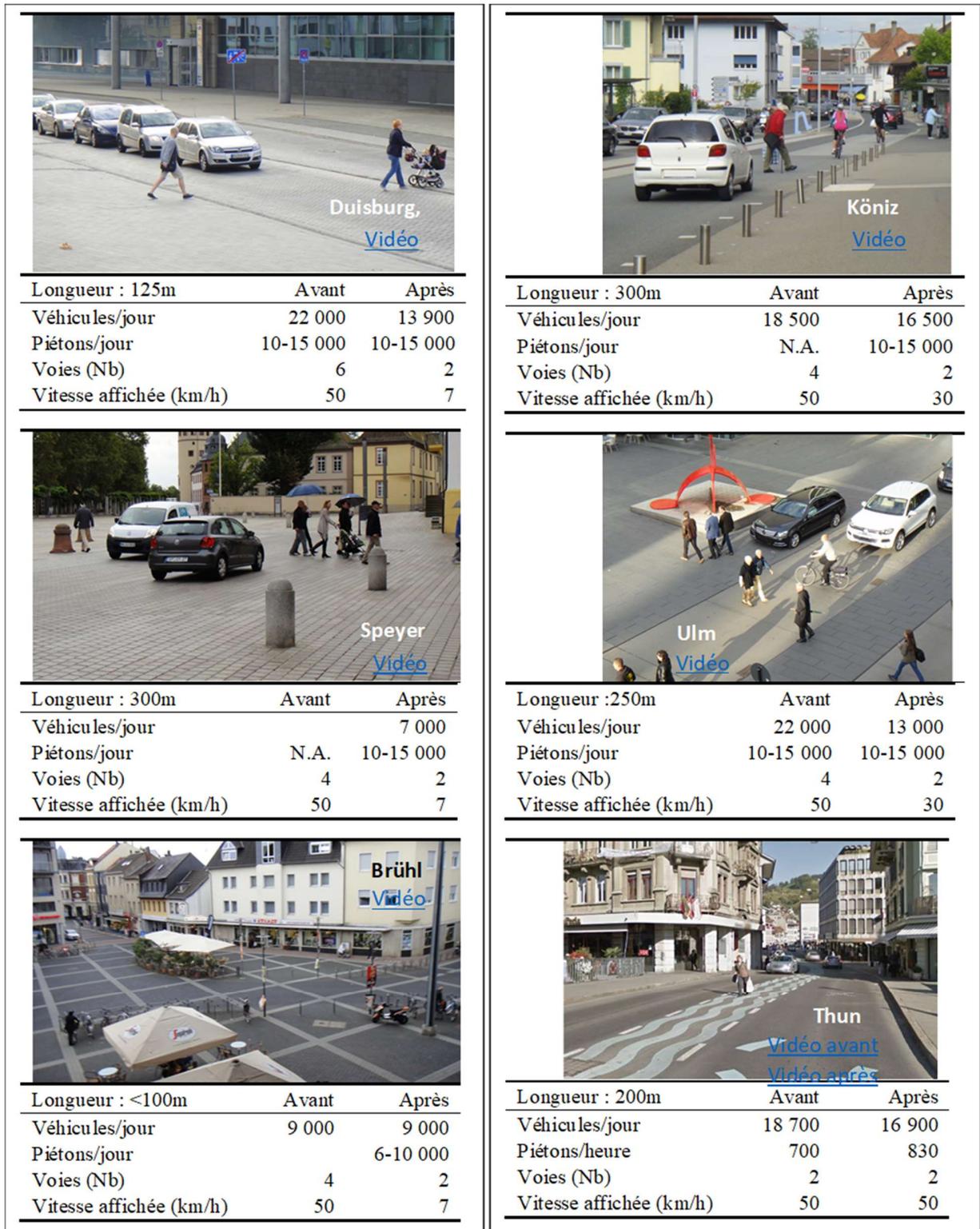


Figure 36. Exemples réels de ZAPP (gauche) et de bandes centrales polyvalente (droite)

### 2.10.3 Contributions analytiques

Le premier apport de cette thèse est la clarification du concept de ZAPP et l'amélioration de sa compréhension au Québec. Cette contribution prend diverses formes et se retrouve dans plusieurs sections de la thèse : synthèse typologique, historique et description des caractéristiques des ZAPP exposées au cadre conceptuel et dans les trois articles. Il existe plusieurs règles et variantes du concept de ZAPP et cela entraîne une confusion chez les intervenants, même les initiés. Un effort substantiel a donc été consenti afin de clarifier le concept, le définir sous tous ses angles, le documenter, constituer des études de cas (cas probants), de sorte qu'il soit intelligible et mieux objectivé. Les forums auront été l'occasion de vulgariser le concept auprès des intervenants de plusieurs milieux, autant les représentants d'associations que les instances décisionnelles et les employés municipaux. Dans plusieurs des 14 municipalités où le forum a eu lieu, la grande majorité des intervenants n'étaient pas au courant de l'existence du concept. La session fût souvent perçue comme un élément d'apprentissage intéressant, voire une formation.

Les résultats du forum montrent une forte adhésion à la ZAPP, puisque 94 % des participants l'ont jugée applicable à la fin des forums. Ceci est dû à la conversion post-forum (+21 %;  $p < 0,001$ ). En comparaison, les experts consultés sur le Web étaient 90 % à adhérer à l'applicabilité du concept global de ZAPP. Malgré cette approbation générale et l'adhésion marquée pour le concept de priorité piétonne absolue (93 % après les forums et 94 % sur le Web), quelques éléments ont soulevé des interrogations, dont l'absence de marquage et de signalisation. La possibilité pour le piéton d'utiliser la pleine largeur de l'infrastructure et de traverser n'importe où, a suscité une adhésion beaucoup moins forte (76 % après les forums et 67 % sur le Web).

Tableau 27. Comparaison questionnaire Web vs forums pour l'applicabilité de 9 aspects des ZAPP

Questions:	Quest.	Taux d'adhésion (%)			Test de t, avant/après basé sur:	
		Web	Forum		Forum <sup>1</sup>	Type de participant <sup>2</sup>
« Dans un éventuel concept de ZAPP à introduire au Québec, sur certaines rues, croyez-vous applicable »:			Avant	Après		
Concept global	89,8	77,8	94,3	0,001	0,001	
Priorité absolue accordée aux piétons	94,0	84,9	93,4	0,02	0,01	
Piétons occupent toute la chaussée et traversent n'importe où	67,1	52,1	76,0	0,001	0,01	
Conflits gérés par courtoisie et contact visuel entre usagers	85,6	66,0	77,1	0,02	0,01	
Vitesse apaisée à 20 km/h	89,8	73,8	87,6	0,02	0,02	
Absence de signalisation à l'intérieur de la zone	53,9	59,9	67,8	-	-	
Absence d'arrêt / feu aux intersections	58,4	59,9	81,1	0,001	0,01	
Absence de passage pour piétons	70,9	71,3	82,3	0,001	-	
Absence de trottoir / chaussée à niveau	77,9	78,0	81,9	-	-	
Moyenne	76,5	70,0	81,7			

<sup>1</sup>: Test de t basé sur les observations par forums (n=18); indiqué si  $p < 0,05$

<sup>2</sup>: Test de t basé sur les observations par types de participants (n=16); indiqué si  $p < 0,05$

Une autre contribution de la thèse est la méthode d'analyse du changement de perception observé chez les participants aux forums. À la fois étonnants et importants, ces changements étaient attribuables à trois types de professionnels : policiers, élus, intervenants en santé publique (Tableau 28). Les modèles de régression logistique ont largement expliqué la perception

des participants aux forums. Ils expliquent entre 10 et 20 % de la variation de l'acceptabilité perçue par la nature même des individus interrogés (Tableau 29). Les urbanistes semblent enthousiastes à l'ensemble des caractéristiques de la ZAPP, mais les ingénieurs sont plus prudents, adhérant à de moins nombreux aspects du concept. Les usagers avec des limitations visuelles sont sceptiques à l'égard de toutes les composantes de la ZAPP. Les policiers, présents dans presque tous les modèles de conversion, sont les professionnels dont le changement de perception a été le plus marquant. Réticents au départ, ils ont adhéré en fin de forum à l'ensemble des éléments du concept. Les élus et les intervenants en santé publique ont aussi été associés significativement aux modèles de conversion.

Le fait saillant demeure cependant l'importante part de l'explication fournie aux modèles par la présentation des exemples réels. L'exposition des participants à des débats constructifs, l'utilisation de la votation électronique et la présentation d'exemples documentés étaient de nature à induire un changement de perception. Ceci veut dire qu'il est possible d'informer et de présenter adéquatement un concept inconnu en illustrant de véritables réalisations, appuyées de données.

Tableau 28. Modèles de régression logistique : applicabilité globale de la ZAPP (avant vs après)

Modèle	n	Pseudo-R <sup>2</sup>	Coefficients significatifs ( <i>p</i> <.01 en italique)										
			Constante	Urbaniste	Santé publique	Policier	Limitation visuelle	%Police	Grande ville	Köniz	Speyer		
Avant	311	.14	.94	1.28	-1.30	-1.45	-3.51	.80					
Après	295	.12	4.16				-2.36	-1.90					
	184	.37	.30							2.71	2.18		

Tableau 29 Modèles de régression logistique : changements de perceptions (9 aspects ZAPP)

Modèle	n	Pseudo-R <sup>2</sup>	Constante	Coefficients significatifs ( <i>p</i> <.01 en italique)													
				Ingénieur	Urbaniste	Policier	Limitation visuelle	Régisseur communaut	Élus	%Police	%Femme	%Ingénieur	Grande ville	Köniz	Thun	Speyer	Duisburg
Scepticisme	305	.14	-3.20				3.61						1.47				
Conversion positive	305	.13	-.94			1.53											
Enthousiasme	305	.15	-.83		1.63	-1.19	-2.67			.11	.02						
Scepticisme	189	.47	1.45											-2.24	-1.54		-2.56
Conversion positive	189	.18	-1.16			2.37			2.04								
Enthousiasme	189	.51	-9.42	-2.27		-2.96		-3.95	-3.89		.15				2.93	1.44	2.86

Une autre contribution de la thèse a été l'élaboration de modèles théoriques de sécurité et de congestion en ZAPP. Ces aspects étaient mal documentés et absents des guides pour aménager

des ZAPP. Bien que de nombreuses législations définissent la ZAPP, les raisons sous-jacentes à ces règles et leurs justifications en termes de sécurité sont presque inexistantes. Dans cette thèse, la sécurité des piétons a été estimée avec un modèle de distance de visibilité d'arrêt (Figure 37), qui servira à bonifier les normes du MTMDET, advenant que les ZAPP soient introduites au CSR.

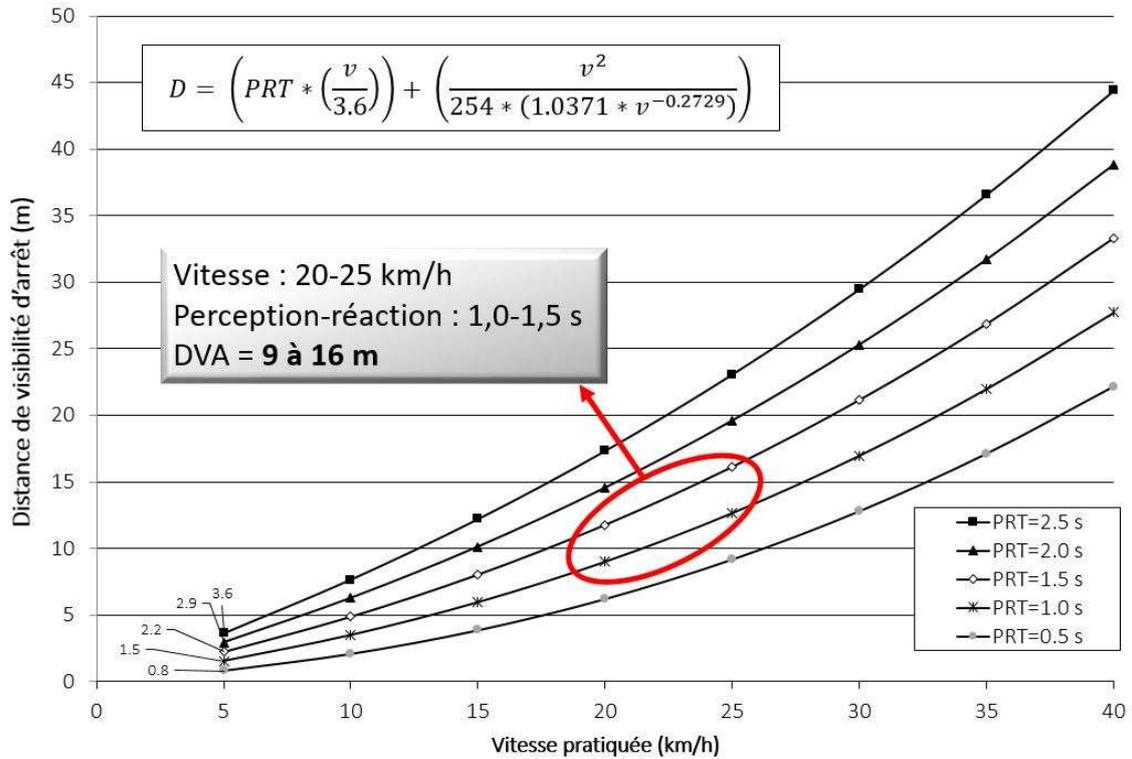
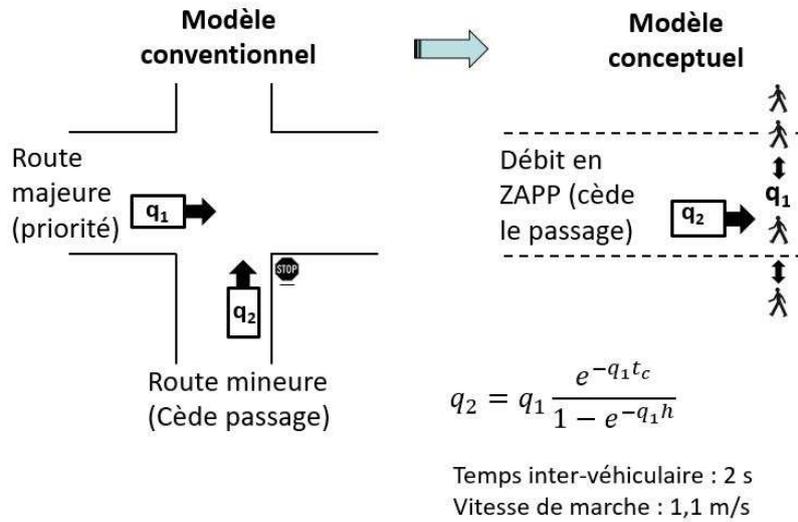


Figure 37. Distance de visibilité d'arrêt selon la vitesse et le temps de perception et de réaction

Enfin, la congestion en ZAPP, un des éléments à considérer dans la planification hiérarchique du réseau routier, pourra être évaluée en raffinant le modèle théorique de délai en situation de priorité piétonne qui a été ébauché (Figure 38) :



Inspiré de : TRB (Gerlough and Huber 1975)

Figure 38. Volume piéton prioritaire  $q^1$  selon le volume de véhicules  $q^2$

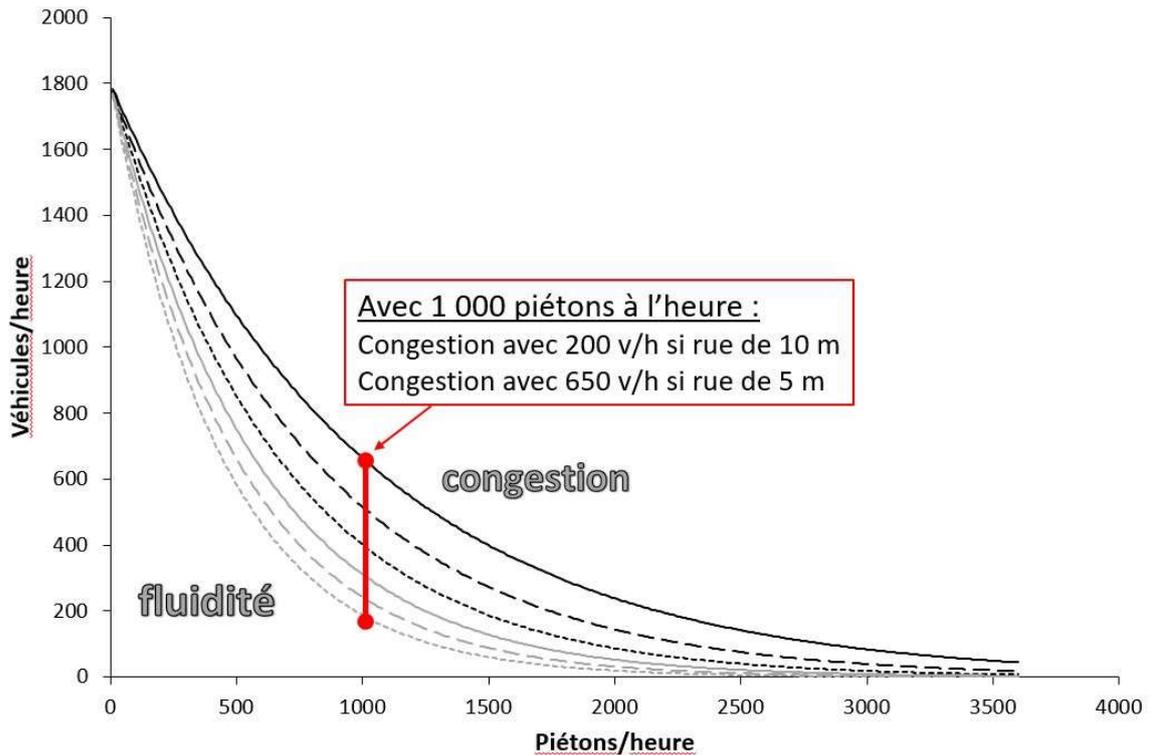


Figure 39. Volume de véhicules cédant aux piétons selon la largeur de la ZAPP

#### 2.10.4 Synthèse des variables clés à considérer

En terminant, voici les éléments clés à considérer et quelques seuils pour identifier le potentiel de ZAPP, qui pourraient éventuellement constituer un modèle décisionnel. Il a été clairement établi que les zones de rencontre peuvent à la fois convenir aux milieux résidentiels tranquilles et

aux milieux très achalandés, une attention particulière a été portée dès le départ aux différents seuils qui peuvent caractériser ces deux types de milieux. Voici donc les éléments clés à considérer :

- DJMA ou fonction de transit (transit très faible et  $\leq 1000$  véhicules/h)
- Volume de piétons élevé (propice)
- Ratio piétons/véhicules élevé (propice si  $\geq 1 : 1$ )
- Types de signalisation aux abords de la ZAPP (préférentiellement 30 km/h en amont)
- Présence de rue locale (propice)
- Zones commerciales, touristiques et institutionnelles (très propice)
- Zone scolaire (peu propice)
- Présence de ligne bus (pas optimal pour ZAPP, mais possible si bus pas trop nombreux)
- Présence d'axe cyclable (non souhaitable)

## 3 Rayonnement

### 3.1 Publications (2016-2017)

- Bahbouh, K., Wagner, J. R., Morency, C., Berdier, C. (2017). Travel demand corridors: Modelling approach and relevance in the planning process, *Journal of Transport Geography*, Volume 58, January 2017, Pages 196–208.
- Lefebvre-Ropars, G., Morency, C. (2017). Assessing the spatial transferability of a walkability index: the Pedestrian Index of the Environment, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 57, December 2017, Pages 378-391.
- Alizadeh, H. (2017). On the role of bridges as anchor points in route choice modeling, *Transportation*, First Online: 02 February 2017, DOI: 10.1007/s11116-017-9761-7
- Nouri, P., Morency, C. (2017). Evaluating Microtrip Definitions for Developing Driving Cycles, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2627: 86-92.
- Wielinski, G., Trépanier, M., Morency, C. (2017). Carsharing Versus Bikesharing: Comparing Mobility Behaviors, January 2017 *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2650: 112-122.
- Yasmin, F., Morency, C., Roorda, M. (2017). Trend analysis of activity generation attributes over time, *Transportation*, January 2017, Volume 44, Issue 1, pp 69–89.
- Yasmin, F., Morency, C., Roorda, M.J. (2016). Macro-, meso-, and micro-level validation of an activity-based travel demand model. *Transportmetrica A: Transport Science*.
- Sioui, L., Morency, C. (2016). An octopus and a circle at the basis of a framework for the evaluation of sustainable mobility, Pages 1-7, Published online: 28 Mar 2016, *Transport* (<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/16484142.2016.1156021>).
- Morency, C., Verreault, H. (2016). Integration of a Phone-based Household travel survey and a Web-based Student travel survey. *Transportation*, doi:10.1007/s11116-016-9726-2
- Fortin, P., Morency, C., Trépanier, M. (2016). Innovative GTFS Data Application for Transit Network Analysis Using a Graph-Oriented Method. *Journal of Public Transportation*. 19(4): 18-37.
- Wielinski, G., Trépanier, M., Morency, C. (2016). Electric and hybrid car use in a free-floating carsharing system. *International Journal of Sustainable Transportation*. Online version: 200-213.

### 3.2 Participation à des congrès

#### 3.2.1 Congrès annuel du transportation research board 2016

- Miller, E., Lee-Gosselin, M.-L., Shalaby, A., Nurul Habib, K., Morency, C., Roorda, M., Srikukenthiran, S. (2016). Survey of Transportation Agencies on the Current State of Transportation Data Collection Practice in Canada, presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.
- Bourdeau, J.-S., Morency, C., Saunier, N. (2016). Deriving Parking Use from Household Travel Survey Data, presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.
- Shekarrizfard, M., Alam, A., Badran, A., Faucher, J., Miranda-Moreno, L., Morency, C., Saunier, N., Patterson, Z., Trépanier, M., Hatzopoulou, M. (2016). Validation of a puff dispersion model : air quality simulation for new highway infrastructure, presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.

- Lacombe, A., Morency, C. (2016). Modeling taxi trip generation using GPS data. The Montreal Case., presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.
- Saoudi Hassani, O., Morency, C., Saunier, N. (2016). Optimization scenarios of home-work distances in Montreal, presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.
- Fortin, P., Morency, C., Trépanier, M. (2016). Innovative use of GTFS data for transit network analysis using a graph-oriented method, presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.
- Wielinski, G., Trépanier, M., Morency, C. (2016). Differences Between Electric and Hybrid Car Use in a Free-Floating Carsharing System, presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.
- Tessier, M.-A., Morency, C., Saunier, N. (2016). Impact of Weather Conditions on Traffic: Case Study of Montreal's Winter, presented at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, 2016, Washington D.C.

### 3.2.2 Congrès annuel de l'Association québécoise des transports 2016

- Frappier, A., Morency, C., Trépanier, M. (2016). Transport en commun : comment mesurer l'embaras du choix?, présenté au 51<sup>e</sup> congrès de l'AQTr, Québec.
- Fortin, P., Morency, C., Trépanier, M. (2016). Généraliser l'analyse et la synthèse de l'offre de service de transport en commun, présenté au 51<sup>e</sup> congrès de l'AQTr, Québec.
- Wielinski, G., Trépanier, M., Morency, C. (2016). Comportement des usagers face aux véhicules électriques dans un système d'autopartage en libre-service intégral, présenté au 51<sup>e</sup> congrès de l'AQTr, Québec.
- Morency, C., Trépanier, M., Frappier, A., Bourdeau, J.-S. (2016). BIXI : modéliser les pulsations d'usage, présenté au 51<sup>e</sup> congrès de l'AQTr, Québec.
- Bourbonnais, P.-L., Faucher, J., Morency, C. (2016). Regard sur 20 ans d'enquête Origine-Destination dans la région de Québec, présenté au 51<sup>e</sup> congrès de l'AQTr, Québec.
- Bourdeau, J.-S., Morency, C. (2016). Utilisation des stationnements à Montréal : analyse évolutive à l'aide de quatre enquêtes Origine-Destination (1998-2013), présenté au 51<sup>e</sup> congrès de l'AQTr, Québec.

### 3.2.3 World conference on transport research 2016

- Morency, C., Verreault, H. (2016). What if empty car seats were filled with passengers? A theoretical assessment using the Montreal case, presented at the 14th World Conference on Transport Research, Shanghai, China.
- Morency, C., Trépanier, M., Frappier, A., Bourdeau, J.-S. (2016). Typology of bikesharing members in Montreal, presented at the 14th World Conference on Transport Research, Shanghai, China.
- Congrès annuel du transportation research board 2017
- Morency, C., Trépanier, Frappier, A., Bourdeau J.-S. (2017). Longitudinal analysis of bikesharing usage in Montreal, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Morency, C., Verreault, H., Frappier, A. (2017). Estimating latent cycling and walking trips in Montreal, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.

- Verreault, H., Morency, C. (2017). Estimating the Potential of Ridesharing Using Travel Survey Data, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Fortin, P., Morency, C., Trépanier, M. (2017). Methodology to Evaluate Supply Changes in Public Transit Networks Using General Transit Feed Specification Data, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Legare, F., Giraud, A., Trépanier, M., Morency, C. (2017). Data Fusion of APC, Smart Card and GTFS Data to Visualize Public Transit Use, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Lefebvre-Ropars, G., Morency, C., Singleton, P., Clifton, K. (2017). Assessing the Spatial Transferability of the Pedestrian Index of the Environment, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Nouri, P., Morency, C. (2017). Evaluating Microtrip Definition for Developing Driving Cycles, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Laviolette, J., Morency, C., Saunier, N., Lacombe, A. (2017). Temporal and Spatial Analysis of Taxi Demand in Montreal, Canada, Using Clustering Approach, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Bahbouh, K., Morency, C., Berdier, C. (2017). What If the Network Was Designed by the Demand and How Much Does It Comply with the Supply?, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Wielinski, G., Trépanier, M., Morency, C. (2017). Carsharing Versus Bikesharing: Comparing Mobility Behaviors, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.
- Alizadeh, H., Saunier, N., Morency, C., Farooq, B. (2017). Classifying Behavioral Dynamics of Taxi Drivers' Route Choices Using Longitudinal GPS Data, presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 8-12, 2017, Washington D.C.

#### 3.2.4 Congrès annuel de l'Association québécoise des transports 2017

- Lefebvre-Ropars, G., Morency, C. (2017). Indicateurs de marchabilité : lequel choisir pour expliquer la pratique de la marche?, présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Laviolette, J., Morency, C. (2017). Les permis de taxi sont-ils utilisés à leur plein potentiel ?, séance d'affichage au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Dubé, S., Morency, C. (2017). Impacts des centres commerciaux d'envergure sur la mobilité – Caractérisation et modélisation des déplacements générés, séance d'affichage au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Morency, C., Trépanier, M., Saunier, N., Verreault, H., Bourdeau, J.-S. (2017). Comprendre les interactions entre les modes de transport, présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Bourbonnais, P.L., Morency, C., Trépanier, M. (2017). La génétique au service des réseaux de transport collectifs, présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Morency, P., Morency, C., Tétreault, L.-F., Chevalier, Q., Smargiassi, A., Eluru, N., Hatzopolou, M., Dubé, A.-S., Goudreau, S., Plante, C. (2017). Ville et transports : scénarios pour améliorer la santé publique, présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Strauss, J., Morency, P., Morency, C. (2017). Les transports collectifs et les voies réservées améliorent-ils la sécurité des Montréalais? présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.

- Wielinski, G., Trépanier, M., Morency, C., Nurul Habib, K. (2017). Étude de la dynamique du comportement des usagers à l'intérieur d'un écosystème de services d'autopartage à Montréal, présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Fouss, B., Morency, C., Dussault, V., Gravel, F., Lefebvre-Ropars, G. (2017). Microtransit : nouvel allié du transport en commun? présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Bourdeau, J.-S., Morency, C., Trépanier, M., Saunier, N., Giraud, A. (2017). OSC2AR : Outil de suivi des conditions de circulation et d'analyse réseau, présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.
- Leblanc, N., Badeau, N., Morency, C., Saunier, N. (2017). Justification des traverses piétonnes à mi-bloc sur les artères de la ville de Montréal, présenté au 52<sup>e</sup> congrès annuel de l'AQTr, Montréal.

### 3.2.5 International conference on transport survey method 2017

- Alizadeh, H., Bourbonnais, P.-L., Morency, C., Farooq, B., Saunier, N. (2017). An online survey to enhance understanding of car drivers route choices, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.
- Bourdeau, J.-S., Wielinski, G., Morency, C., Saunier, N., Trépanier, M. (2017). Using GPS data from a fleet of shared free-floating cars to estimate parking search time, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.
- Nurul Habib, K., Miller, E., Srikukenthiran, Lee-Gosselin, M., Morency, C., Roorda, M., Shalaby, A. (2017). TTS 2.0 : A Research and Development (R&D) Project on Passenger Travel Survey Methods, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.
- El-Assi, W., Miller, E., Morency, C., Nurul Habib, K. (2017). Investigating the capacity of continuous household travel surveys in capturing the temporal rhythms of travel demand, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.
- Verreault, H., Morency, C. (2017). Impact of the call/recall strategy during household surveys on data quality, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.
- Bourbonnais, P.-L., Morency, C. (2017). A Robust Datawarehouse as a Requirement to the Increasing Quantity and Complexity of Travel Surey Data, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.
- Morency, C., Trépanier, M, Saunier, N., Verreault, H., Bourdeau, J.-S. (2017). The challenges of using 5 parallel passive data streams to report on a wide range of mobility options, presented at the 11th International Conference on Transport Survey Methods, Quebec.

## 4 Références

- Ahrens, G.A., Becker, U., Böhmer, T., Richter, F., Wittwer, R., (2013). Potential of Cycling to Reduce Emissions in Road Transport. Executive Summary by Environmental research of the federal ministry of the environment, nature conservation and nuclear safety. Germany, 11 p.
- American Association for Public Opinion Research. Standard Definitions: Final Dispositions of Case Codes and Outcome Rates for Surveys. AAPOR, 2011.
- Aoun, A., Bjornstad, J., DuBose, B., Mitman, M., Pelon, M. (2015). Bicycle and Pedestrian Forecasting Tools: State of the Practice. Federal Highway Administration White paper series
- Bérubé, N. (2017). Les BIXI, plus nombreux que jamais, in La Presse. 2017.
- Bourbonnais, P.-L., and C. Morency. Web-based Origin-Destination surveys: an analysis of respondent behaviour. Presented at the th World Conference on Transport Research, 2013.
- Bourbonnais, P.-L., and C. Morency. Web-Based Travel Survey: A Demo. The Travel Survey Toolkit: Where to From Here? (M. Munizaga, J. A. Carrasco, J. Zmud, and M. Lee-Gosselin, eds.), 9th International Conference on Transport Survey Methods 2011, Bingley.
- Bruneau, Jean-François, Morency, Catherine (2016). Évaluation du potentiel d'application d'une démarche « Code de la rue » pour le Québec et identification des enjeux et stratégies liés à sa mise en œuvre, Rapport final, Étude réalisée pour le compte du Ministère des transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, projet R703.1, 465 pages. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1192646.pdf>
- Chapleau, R. Measuring the Internal Quality of a CATI Travel Household Survey. Presented at the International Conference on Transport Survey Quality and Innovation, 2003.
- Chillon, P., Panter, J., Corder, K., Jones, A. P., Van Sluijs E.M., (2015). A longitudinal study of the distance that young people walk to school. Health Place, Vol 31, pp. 133–137.
- City of Stockholm (2012). Urban Mobility Strategy: English Version. Stockholm : City of Stockholm Traffic Administration. Tiré de : <http://international.stockholm.se/globalassets/ovriga-bilder-och-filer/urban-mobility-strategy.pdf>
- Clifton, K. J., Singleton, P. A., Muhs, C. D., & Schneider, R. J. (2016b). Representing pedestrian activity in travel demand models: Framework and application. Journal of Transport Geography, 52, 111-122. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.03.009>
- Clifton, K. J., Singleton, P. A., Muhs, C. D., Schneider, R. J., & Lagerwey, P. (2013). Improving the Representation of the Pedestrian Environment in Travel Demand Models, Phase I (OTREC-RR-510). Retrieved from Portland, OR: <http://archives.pdx.edu/ds/psu/15445>
- Colville-Andersen, M. (2013). The Arrogance of Space. Tiré de : <http://www.copenhagenize.com/2013/03/the-arrogance-of-space.html>
- Couper, M. P. Measuring survey quality in a CASIC environment. Proceedings of the Survey Research Methods Section, 1998.
- Deboosere, R., Boisjoly, G., & El-Geneidy, A. (2018). Understanding the relationship between changes in accessibility to jobs, income and unemployment in Toronto, Canada. Paper presented at the 97th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Di Ciommo, F. et Shiftan, Y. (2017). Transport Equity Analysis, Transport Reviews
- Ewing, R., & Cervero, R. (2001). Travel and the Built Environment: A Synthesis. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1780, 87-114. doi:<https://doi.org/10.3141/1780-10>

- Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265-294. doi:<https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, K., Conway, T. L., & Hess, P. M. (2010). The development of a walkability index: application to the Neighborhood Quality of Life Study. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 924-933. doi:<https://doi.org/10.1136/bjism.2009.058701>
- Godefroy, F., & Morency, C. (2012). Estimating Latent Cycling Trips in Montreal, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2314, 120-128. doi:<https://doi.org/10.3141/2314-16>
- Godefroy, F., Morency, C. (2012). Estimating latent cycling trips in Montreal, Canada *Transportation Research Record. Journal of transportation research board*, 2314, pp. 120–12
- Gössling, S., Schröder, M., Späth, P., & Freytag, T. (2016). « Urban Space Distribution and Sustainable Transport ». *Transport Reviews*, 36(5), 659-679. <http://doi.org/10.1080/01441647.2016.1147101>
- Gummer, T., and J. Rossmann. Explaining Interview Duration in Web Surveys: A Multilevel Approach. *Social Science Computer Review*, 2014, p. 0894439314533479.
- Hampton, S. (2013). Measuring Oklahoma Main Streets. Tiré de : <http://iqc.ou.edu/2013/08/19/mainstreets/>
- Heinen, E., Van Wee, B., Maat, K., (2010) Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature, *Transport Reviews*, 30:1, 59-96, DOI: 10.1080/01441640903187001
- Hui, N., Saxe, S., Roorda, M., Hess, P., & Miller, E. J. (2018). Measuring the completeness of complete streets. *Transport Reviews*, 38(1), 73-95. <https://dx.doi.org/10.1080/01441647.2017.1299815>
- Hunt, J. D. and Abraham, J. E. (2007) Influences on bicycle use, *Transportation*, 34, pp. 453–470.
- Iacono, M., Krizek, K., & El-Geneidy, A. (2008). Access to Destination: How Close is Close Enough? Estimating Accurate Distance Decay Functions for Multiple Modes and Different Purposes, (MN/RC 2008-11) Saint Paul, MN: Minnesota Department of Transportation
- Institut national de santé publique du Québec. (2013). Portrait de l'environnement bâti et de l'environnement des services : un outil d'analyse pour améliorer les habitudes de vie (1451). Retrieved from Montréal, Québec, Canada: <https://www.inspq.qc.ca/publications/1451>
- Jordan, S., Mishra, S., Gkolias, M.M., Welch, T.F., Cherry, C.R. (2017). Equity Metrics in Public Transit : Case Study in Tennessee, presented at the 97<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC.
- Kaplan, S. Popoks, D., Prato, C. G., Ceder, A.(2014). Using connectivity for measuring equity in transit provision, *Journal of Transport Geography*, Volume 37, May 2014, Pages 82-92
- Kemperman, A., Timmermans, H., (2009). Influences of Built Environment on Walking and Cycling by Latent Segments of Aging Population. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board* 2134, p 1-9.
- Koschinsky, J., Talen, E., Alfonzo, M., & Lee, S. (2016). How walkable is Walker's paradise? *Environment and Planning B: Planning and Design*. doi:<https://dx.doi.org/10.1177/0265813515625641>
- Kreuter, F. *Improving Surveys with Paradata*. John Wiley & Sons, 2013.
- Kreuter, F., M. P. Couper, and L. E. Lyberg. The use of paradata to monitor and manage survey data collection. *Joint Statistical Meetings*, 2010.

- Krizek, K. J., Forsyth, A., Baum, L. (2009). Walking and Cycling International Literature Review Final Report, Victoria Department of Transport, 102 p.
- Lamíquiz, P. J., & López-Domínguez, J. (2015). Effects of built environment on walking at the neighbourhood scale. A new role for street networks by modelling their configurational accessibility? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 148-163. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.003>
- Littman, T. (2017). Evaluating Transport Equity, Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vtpi.org/equity.pdf>
- Maghelal, P. K., & Capp, C. J. (2011). Walkability: A Review of Existing Pedestrian Indices. *URISA Journal*, 23(2), 5-19.
- Martens, K. (2016). *Transport justice: Designing fair transportation systems*. New York : Routledge. 256 pages. ISBN : 978-0415638326
- McKibbin, D., (2011). The wider contribution of cycling and its potential to replace car journeys. Northern Ireland Assembly, NIAR 535-11
- Monzon, A., Vega, L.A. (2006). How to measure the potential of transferring trips from car to public transport and soft mode. The case of Madrid. European Transport Conference – Strasbourg, September 2006.
- Morency, C. Enhancing the Travel Survey Process and Data Using the CATI System. *Transportation Planning and Technology*, Vol. 31, No. 2, 2008, pp. 229–248.
- Morency, C., Demers, M., & Poliquin, E. (2014). Shifting short motorized trips to walking: The potential of active transportation for physical activity in Montreal. *Journal of Transport & Health*, 1(2), 100-107. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2014.03.002>
- Morency, C., Demers, M., Lapierre, L. (2007). How Many Steps Do You Have in Reserve? Thoughts and Measures About a Healthier Way to Travel. *Transportation Research Record*, 2002, p. 1-6.
- Morency, C., Demers, M., Poliquin, E. (2014). Shifting short motorized trips to walking: The potential of active transportation for physical activity in Montreal *Journal of Transport & Health*, Volume 1, Issue 2, June 2014, Pages 100–107
- Morency, C., Roorda, M.-J., & Demers, M. (2009). Steps in Reserve: Comparing Latent Walk 445 Trips in Toronto and Montreal, paper presented at the 88th Annual Meeting of the 446 Transportation Research Board, Washington DC, <http://dx.doi.org/10.3141/2140-12>
- Morency, C., Trepanier, M., Tremblay, V., & Poliquin, E. (2011). Insights on the determinants of 442 walk trips using large scale travel survey data, *Integrated Transportation and Development*, pp. 443 1-10, Chicago, USA.
- Morency, C., M. Trepanier, A. Frappier, and J. S. Bourdeau. (2017) Longitudinal Analysis of Bikesharing Usage in Montreal, Canada. Presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2017.
- Morency, C., Trépanier, M., Godefroy, F. (2011) Insights into Montreal's bikesharing system. Presented at 90th annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Moudon, A. V., & Lee, C. (2003). Walking and Bicycling: An Evaluation of Environmental Audit Instruments. *American Journal of Health Promotion*, 18(1), 21-37. doi:<https://doi.org/10.4278/0890-1171-18.1.21>
- Nelson N.M., Foley E., O’Gorman D.J., Moyna N.M., Woods C.B., (2008). Active commuting to school: how far is too far? *International Journal of Behavioral nutrition and physical activity*, 5:1.

- Olszewski, P., Wlbowo, S. S., (2005). Using equivalent walking distance to assess pedestrian accessibility to transit stations in Singapore. *Transportation Research Record*, 1927, pp. 38–45.
- Panter, J.R., Jones, A.P., van Sluijs, E.M., (2008). Environmental determinants of active travel in youth: a review and framework for future research. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* p 5:34.
- Parkin, J., Wardman, M. and Page, M. (2008) Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data, *Transportation*, 35(1), pp. 93–109
- Poliquin, E. (2012). Mieux comprendre les déterminants du choix modal. Master thesis. École Polytechnique de Montréal Mémoire
- Pont K., Ziviani J., Wadley D., Bennett S., Abbott R., (2009). Environmental correlates of children’s active transportation: a systematic literature review. *Health Place*. Vol15, p827–840.
- Pooley, C. G., (2011). *Understanding Walking and Cycling, Summary of Key Findings and Recommendations*, Lancaster University, 26 p.
- Pospischila, F., Mailera, M. (2014). The Potential of Cycling for Sustainable Mobility in Metropolitan Regions –The facts behind the Success Story of Innsbruck. *Transportation Research Procedia* 4, pp. 80 – 89.
- Scarf, P., & Grehan, P. (2005). An empirical basis for route choice in cycling. *Journal of sports sciences*, 23(9), 919-925.
- Sicotte, G. (2014). Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et chaînes de déplacements. (M. Sc. A. Mémoire de maîtrise), Polytechnique Montréal, Montréal, Québec, Canada. Retrieved from <http://publications.polymtl.ca/id/eprint/1657>
- Singleton, P. A., Schneider, R. J., Muhs, C., & Clifton, K. J. (2014). The Pedestrian Index of the Environment: Representing the Walking Environment in Planning Applications. Paper presented at the Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington DC.
- Statistics Canada. Residential Telephone Service Survey. 2013.
- Steinley, D. (2006) K-means clustering: A half-century synthesis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, Vol. 59, No. 1, 2006, pp. 1 - 34. <http://dx.doi.org/10.1348/000711005X48266>.
- Transport for London, (2010). Analysis of cycling potential. Policy analysis research report, Travel in London, Mayor of London. 55 p.
- Trépanier, M., R. Chapleau, and C. Morency. Tools and methods for a transportation household survey. *URISA Journal*, Vol. 20, 2008.
- USA. Clifton, K. J., Singleton, P. A., Muhs, C. D., & Schneider, R. J. (2016a). Development of destination choice models for pedestrian travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 255-265. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tr.2016.09.017>
- Vale, D. S., Saraiva, M., & Pereira, M. (2015). Active accessibility: A review of operational measures of walking and cycling accessibility. *Journal of Transportation and Land Use*, 9(1). doi:<https://dx.doi.org/10.5198/jtlu.2015.593>
- Valiquette, F. & Morency, C., (2010). Trip chaining and its impact on travel behaviours, *Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research*, Lisbon, Portugal.
- Van Dyck D., De Bourdeaudhuij I., Cardon G., Deforche B., (2010). Criterion distances and correlates of active transportation to school in Belgian older adolescents. *International Journal of Behavioral nutrition and physical activity*. 7:87.
- Verreault, H., and C. Morency. The Chronic Issue of Proxy Respondent Bias. Presented at the 10th International Conference on Transport Survey Methods, 2014.

- Ville de Montréal. (2008). Plan de transport 2008 : réinventer Montréal. Montréal: Ville de Montréal, Service des infrastructures, transport et environnement, Direction des transports, Division du développement des transport Retrieved from [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=8957,99681670&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8957,99681670&_dad=portal&_schema=PORTAL).
- Ville de Montréal. (2016). Stratégie centre-ville : soutenir l'élan. Montréal : Ville de Montréal. Tiré de : [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=9517,142747661&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=9517,142747661&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Volume 37, 2017 - Issue 2: Equity in Transport
- Witten, K., Pearce, J., & Day, P. (2011). Neighbourhood Destination Accessibility Index: A GIS Tool for Measuring Infrastructure Support for Neighbourhood Physical Activity. *Environment and Planning A*, 43(1), 205-223. doi:<https://dx.doi.org/10.1068/a43219>
- Wong, B. Y.-M., Faulkner, G., & Buliung, R. (2011). GIS measured environmental correlates of active school transport: A systematic review of 14 studies. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 1-22. doi:<http://dx.doi.org/10.1186/1479-5868-8-39>