

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

Rapport d'activités 2011-2012
RÉVISÉE





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

Rapport d'activités 2011-2012 – Version RÉVISÉE

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
Dr. Marie Demers, Hubert Verreault

Partenaires

Ville de Montréal
Agence métropolitaine de transport
Ministère des transports du Québec
Société de transport de Montréal

Mars 2013

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 (2013). Rapport d'activités 2011-2012, Version révisée, Polytechnique Montréal, 165 pages.



Équipe de recherche

Professeurs-chercheurs

Catherine Morency, professeure agrégée
Département des génies civil, géologique et des mines

Martin Trépanier, professeur titulaire
Département de mathématiques et génie industriel

Nicolas Saunier, professeur adjoint
Département des génies civil, géologique et des mines

Bruno Agard, professeur agrégé
Département de mathématiques et génie industriel

Professionnels de recherche

Marie Demers, épidémiologiste, associée de recherche
Hubert Verreault, M.Sc.A., associé de recherche

Étudiants

Louiselle Sioui, doctorante
Pegah Nouri, doctorante
Kinan Bahbouh, doctorant
Jason Demers, étudiant à la maîtrise
Audrey Godin, étudiante à la maîtrise
Éric Martel-Poliquin, étudiant à la maîtrise
Abdoulay Diallo, étudiant à la maîtrise
Félix Pépin, étudiant à la maîtrise
Sébastien Désilets, étudiant à la maîtrise
Catherine Plouffe, étudiante à la maîtrise
Christine Théberge-Barrette, étudiante à la maîtrise

Table de matières

Sommaire

1	Introduction.....	1
1.1	Mission générale de la Chaire.....	1
1.2	Objectifs des travaux de la Chaire.....	1
1.3	Structure générale de la Chaire.....	2
1.3.1	Partenaires.....	2
1.3.2	Structure organisationnelle.....	2
1.4	Contenu du rapport.....	4
1.5	Cadre général de recherche.....	4
1.6	Équipe de recherche.....	7
1.7	Avancement des travaux.....	9
1.7.1	Mobilité durable : indicateurs et processus d'évaluation.....	10
1.7.2	Thématiques spécifiques.....	10
2	Durabilité en transport.....	13
2.1	Les défis de la mesure de la durabilité en transport.....	13
2.1.1	Rôle et propriétés des indicateurs.....	13
2.1.2	Objectifs et enjeux liés au développement durable en transport.....	13
2.1.3	Constats.....	14
2.1.4	Vers la mesure de la durabilité en transport : étapes.....	15
2.2	Perspectives pour le développement d'un cadre d'analyse et d'évaluation intégré personnes – marchandises – services.....	16
2.2.1	Contexte.....	16
2.2.2	Étapes préalables à la réalisation d'une enquête (ou de la mise en place d'un processus de collecte de données).....	19
2.2.3	Typologie des flux de marchandises.....	22
2.2.4	Perspectives.....	26
3	État d'avancement des thématiques spécifiques.....	27
3.1	Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils – le cas des indicateurs de congestion.....	27
3.1.1	Introduction.....	27
3.1.2	Objectifs de l'étude.....	28
3.1.3	Mise en contexte et revue de littérature.....	28
3.1.4	Méthodologie.....	31
3.1.5	Résultats préliminaires : Cas 1 à 3.....	37
3.1.6	Discussion sur la variabilité des différentes méthodes de calcul des indicateurs.....	46



3.1.7	Résultats préliminaires : Cas 4 et 5	48
3.1.8	Discussion sur les expérimentations à venir	51
3.2	Amélioration des méthodes d'estimation des émissions polluantes liées aux véhicules routiers (Enhancing Emission Estimation from On-Road Vehicles)	53
3.2.1	Introduction	53
3.2.2	État des connaissances	54
3.2.3	Objectives.....	56
3.2.4	Contributions.....	57
3.2.5	Calendrier du projet.....	57
3.3	Méthodologie de collecte et analyse de données sur les déplacements commerciaux.....	58
3.3.1	Objectifs	58
3.3.2	Constats	58
3.3.3	Méthodologie de classification des enquêtes	59
3.3.4	Enjeux	60
3.3.5	Possibilités de travaux de recherche futurs	61
3.4	L'accessibilité en transport : méthodes et indicateurs	63
3.4.1	Introduction	63
3.4.2	Problématique et objectifs.....	64
3.4.3	Méthodologie générale.....	65
3.4.4	Résultats	67
3.4.5	Conclusion	72
3.5	Mieux comprendre les déterminants du choix modal et le marché potentiel des différents modes	73
3.5.1	Introduction	73
3.5.2	Problématique	73
3.5.3	Le marché actuel des modes de transport.....	74
3.5.4	Le marché potentiel des modes	78
3.5.5	Perspectives de recherche.....	80
3.6	Analyse des stationnements en milieu urbain.....	81
3.6.1	Objectifs	81
3.6.2	Contexte	81
3.6.3	Méthodologie générale.....	81
3.6.4	Profils d'accumulation de véhicules et capacité théorique	82
3.6.5	Processus de validation des capacités.....	83
3.6.6	Résultats: démonstrations.....	86
3.6.7	Perspectives.....	89
3.7	Analyse évolutive des comportements de mobilité des jeunes	91
3.7.1	Introduction	91
3.7.2	Littérature	92
3.7.3	Analyse descriptive des données OD	93
3.7.4	Analyse de l'éloignement scolaire	93

3.7.5	Méthodologie	94
3.7.6	Résultats	94
3.7.7	Discussion	95
3.7.8	Perspectives.....	95
3.8	Tendances liées à la composition, la motorisation et la localisation spatiale des ménages	96
3.8.1	Introduction	96
3.8.2	Problématique	96
3.8.3	Questions de recherche.....	98
3.8.4	Méthodologie	99
3.8.5	La modélisation de la typologie du ménage	99
3.8.6	Conclusion	102
3.9	Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport.....	104
3.9.1	Introduction	104
3.9.2	Objectifs	104
3.9.3	L'analyse de Cycle de vie	105
3.10	Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal.....	108
3.10.1	Introduction.....	108
3.10.2	Objectifs spécifiques.....	109
3.10.3	Méthodologie	110
3.10.4	Échéancier de réalisation	111
3.10.5	Impacts de la recherche.....	112
3.11	Méthodologie d'estimation de la génération de déplacements aux lieux de résidence	113
3.11.1	Introduction.....	113
3.11.2	Revue de littérature	113
3.11.3	Problématique	114
3.11.4	Objectif général.....	114
3.11.5	Question de recherche, objectifs spécifiques et hypothèses scientifiques.....	115
3.11.6	Originalité	115
3.11.7	Activités et méthodologie	116
3.11.8	Échéancier.....	116
3.12	Valorisation des données de la carte OPUS.....	118
3.12.1	Système d'information.....	118
3.12.2	Analyse spatio-temporelle	119
3.12.3	Analyse Usager-Ligne	122
3.12.4	Analyse au niveau des lignes	124
3.12.5	Détection des arrêts utilisés	124
3.12.6	Conclusion	126
4	Autres travaux pertinents	127
4.1	Outil intégré de collecte, analyse et visualisation de données de mobilité	127



4.1.1	Problématique	127
4.1.2	Objectifs principaux (création d'outils).....	127
4.1.3	Objectifs connexes	128
4.1.4	Méthodologie et niveau de complétion des étapes de réalisation	128
4.1.5	Enquête web réalisées	130
4.1.6	Constats préliminaires	130
4.1.7	Conclusion et importance pour la recherche	132
4.2	Modèles d'activités.....	133
4.2.1	Introduction	133
4.2.2	Contexte	133
4.2.3	Objectifs et méthodologie	135
4.2.4	Résultats et contributions potentielles	136
4.2.5	Agenda de réalisation	138
4.3	Code de la rue.....	139
4.3.1	Contexte et problématique	139
4.3.2	Objectifs	139
5	Rayonnement	141
5.1	Activités de rayonnement	141
5.2	Participation à des conférences.....	141
5.3	Formation de personnel hautement qualifié.....	142
5.4	Activités organisées par la Chaire	143
6	Références.....	144
7	Annexes.....	154

Liste des figures

Figure 1. Schéma illustrant le cadre conceptuel du programme de recherche de la Chaire Mobilité.....	6
Figure 2. Le Transport des marchandises en ville: un monde complexe (http://www.certu.fr/fr/IMG/pdf/J1-1-TMV_JLRouthier.pdf)	18
Figure 3. Exemple de cartographie des principaux générateurs de flux routiers de marchandises sur le territoire de la ville de Cleveland, Ohio en 2009 (http://www.cityofclevelandtn.com/MPO/Cleveland%20FMSF112.pdf)	20
Figure 4. Destinataires des flux de marchandises dans la région d’Augusta, Georgia en 2006	21
Figure 5. Origine des flux de marchandises dans la région d’Augusta, Georgia en 2006.....	22
Figure 6. Relations entre type de déplacement, type de véhicules, objets urbains et réseau routier	24
Figure 7. Liens entre la congestion et les aspects de la durabilité liés à la mobilité	28
Figure 8. Méthodologie générale de l’étude.....	33
Figure 9. Distributions des ratios des vitesses pour les jours de semaine et de fin de semaine.....	37
Figure 10. Spatialisation des ratios des vitesses par type de jour (partie centrale de Montréal)	38
Figure 11. Indicateurs de congestion les jours de semaine et de fin de semaine	39
Figure 12. Distributions des ratios pour les différentes périodes horaires d’une journée moyenne de semaine	40
Figure 13. Spatialisation des ratios des vitesses par période horaire pour un jour moyen de semaine	41
Figure 14. Indicateurs de congestion des périodes horaires pour un jour moyen de semaine	42
Figure 15. Proportion de variation des indicateurs des groupes horaires par rapport aux indicateurs de la période hors-pointe de nuit pour un jour moyen de semaine	42
Figure 16. Distributions des ratios des vitesses pour la pointe PM des mois de janvier à novembre de l’année 2010...	43
Figure 17. Moyenne des ratios des vitesses et intervalle de confiance à 95%	44
Figure 18. Indicateurs de congestion pour les mois de janvier à novembre en pointe PM pour un jour moyen de semaine	46
Figure 19. Proportion de variation des indicateurs mensuels en pointe PM par rapport à la valeur moyenne annuelle pour un jour moyen de semaine	47
Figure 20. Pour chaque période horaire, proportion des tronçons de très mauvaise, mauvaise et bonne condition de circulation, d’après un seuil d’acceptabilité des usagers représenté par la moyenne annuelle.....	50
Figure 21. Évolution conditions de circulation entre 13h et 17h pour un jour moyen de semaine	51
Figure 22. Distribution des émissions de GES au Québec en 2009, par industrie	54
Figure 23. Facteurs d’émissions.....	55
Figure 24. Relation entre la vitesse du véhicule et le taux d’émission de dioxyde de carbone sur un lien particulier ...	56
Figure 25. Comparaison des objets des enquêtes personnes et marchandises.....	61
Figure 26. Structure du mémoire, sections et chapitres.....	63
Figure 27. Schéma conceptuel de l’accessibilité.....	66
Figure 28. Arrêts avec un passage à l’arrêt durant les 30 prochaines minutes suivants l’heure affichée	68
Figure 29. Étude avant-après du réseau de nuit de la STM.....	69
Figure 30. Résultat du calculateur de trajet: Lieu accessible en TC selon une heure et un période de temps	70
Figure 31. Illustration de superficies accessibles pour trois différents modes de transport	71
Figure 32. Illustration de la modification de superficie accessible par l’auto en tenant compte de temps de parcours corrigés.....	72
Figure 33. Nombre de passages-arrêts de transport en commun cumulé sur 24h	75
Figure 34. Corrélation entre le nombre de passages-arrêts et le choix modal	76
Figure 35. Localisation géographique et part modale des types de ménages	77
Figure 36. Diagramme de visualisation d’un arbre de décision (personne de 20 à 24 ans ayant un statut d’étudiant) ..	78
Figure 37. Relation entre la distance et le choix modal	78
Figure 38. Univers de choix basés sur les distances-seuils de divers segments de population agrégés en 3 groupes (couleurs : Rouge : auto conducteur, Vert : marche, Bleu : Transport en commun et Orange : Vélo).....	79
Figure 39. Processus de validation des estimations de capacités de stationnement obtenues des enquêtes Origine-Destination	82
Figure 40. Processus de détermination du PAV et des Capacités théoriques.....	83
Figure 41. Le secteur (en rouge) servant d’échantillon au processus de validation des capacités	83
Figure 42. PAV des résidents du PMR selon qu’ils aient été mobiles ou immobiles	86
Figure 43. PAV des non-résidents par type de stationnement dans l’arrondissement PMR	87



Figure 44. Présentation de la rue échantillon et des tronçons qui la compose	88
Figure 45. Variation des capacités sur le tronçon 1	89
Figure 46. Graphique type permettant l'analyse descriptive des effets APC	93
Figure 47. Piétons potentiels selon le niveau d'enseignement	95
Figure 48. Variation, en proportion, du nombre de ménages de 2 personnes entre 1991 et 2006 à Montréal	97
Figure 49. Kilométrage parcouru par jour par personne selon le type de ménage selon l'âge	98
Figure 50. Distance moyenne entre le domicile et le centre-ville selon l'âge et le type de ménage	98
Figure 51. Évolution de la répartition de la population par taille de ménage entre 1987 et 2008 (territoire OD87)	100
Figure 52. Illustration de l'outil WEB de collecte de données sur les déménagements	103
Figure 53. Méthode d'évaluation d'impacts, source : (Jolliet 2010).....	105
Figure 54. Représentation de la stabilité temporelle (Premiers déplacements).....	119
Figure 55. Représentation de la stabilité spatiale (Premiers déplacements).....	120
Figure 56. Représentation de la stabilité spatio-temporelle pour les 103 cartes (Premiers déplacements, Lundi au Vendredi)	121
Figure 57. Représentation de la stabilité spatio-temporelle selon la journée (Premiers déplacements, Mercredi et Vendredi)	121
Figure 58. Représentation de la stabilité des usagers selon la première chaîne de déplacements de la journée (Lundi au Vendredi)	122
Figure 59. Représentation de la stabilité spatio-temporelle selon la journée (Première chaîne, Mercredi et Vendredi)	122
Figure 60. Représentation du pourcentage cumulé des déplacements d'un usager sur la ligne 141	123
Figure 61. Représentation du pourcentage cumulé des déplacements des usagers	124
Figure 62. Profil des transactions selon l'heure et la journée de la semaine Ligne 141	124
Figure 63. Représentation du nombre de montées selon l'arrêt et l'heure	125
Figure 64. Liste des 8 blocs d'arrêts et résultats de l'analyse	126
Figure 65: Évolution des approches de modélisation de la demande de transport (Bhat, 1998).....	134
Figure 66: Méthodologie générale de la recherche	135
Figure 67: Poster présenté au 46e congrès annuel de l'AQTR	136
Figure 68: Poster présenté au 47 ^e congrès annuel de l'AQTR (2012).....	137



Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des projets de recherche et étudiants-e-s	12
Tableau 2. Sélection préliminaire de cinq cas de base	36
Tableau 3. Caractéristiques des principaux gaz à effet de serre	53
Tableau 4. Tableau proposé de classification des enquêtes	59
Tableau 5. Type de déplacements commerciaux enquêtés ou non	61
Tableau 6. Nombre de ménages résidant à l'intérieur des surfaces d'accessibilité de trois centres commerciaux.....	71
Tableau 7. Superficies accessibles avec différents modes de transport: exemple	72
Tableau 8. Variables extraites et estimées	75
Tableau 9. Gains kilométriques associés aux modèles A, B et C.....	95
Tableau 10. Résultats du modèle multinomial logit décrivant la probabilité d'appartenir à un ménage d'une personne	102
Tableau 11. Échéancier de réalisation du projet C.Plouffe	112
Tableau 12. Échéancier du projet de C. Théberge-Barette.....	117
Tableau 13. Échantillon utilisé pour l'analyse	118
Tableau 14. Agenda de réalisation de la recherche	138



1 Introduction

1.1 Mission générale de la Chaire

La Chaire de recherche MOBILITÉ se veut un lieu privilégié de recherche, d'expérimentation et de développement méthodologique pour soutenir l'évaluation des contributions des projets, politiques et plans de transport au développement durable. Le développement d'indicateurs de mobilité durable, d'abord comme outil de monitoring des impacts puis comme instrument d'anticipation de ces impacts, est au cœur de la mission de cette chaire. La mission de formation de personnel hautement qualifié dans le domaine des transports et de la mobilité est aussi centrale.

1.2 Objectifs des travaux de la Chaire

L'intérêt de mettre sur pied une Chaire de recherche sur les méthodes et l'information qui assistent l'évaluation des stratégies de transport, dans un contexte de durabilité, est confirmée par les enjeux pressants de reddition des comptes auxquels font face les intervenants en transport. La définition des concepts de transport et mobilité durable ainsi que d'indicateurs permettant d'en évaluer les différents aspects sont d'ailleurs au cœur de plusieurs discussions et travaux de recherche au niveau international (Litman, 2006, 2008; Nicolas et al., 2001, 2002; UITP, 2007; TRB, 2008; parmi d'autres). Il y a donc urgence de mener les réflexions et développements requis pour doter les intervenants en transport de méthodes adaptées aux préoccupations actuelles de durabilité, leur permettant notamment d'évaluer systématiquement et rigoureusement, sous des aspects encore parfois flous, les impacts de la réalisation de différents projets de transport en milieu urbain.

La Chaire Mobilité est une plateforme d'expérimentation, de recherche et de développement sur les méthodes et l'information permettant d'évaluer les contributions des projets à l'atteinte de comportements et situations compatibles à la vision de transport durable en milieu urbain. Globalement, la Chaire de recherche a comme objectif principal de doter les intervenants de mécanismes d'évaluation leur permettant d'apprécier, quantitativement, les impacts des différents choix de transport en vue de décider et d'agir en conformité avec les visions actuelles de développement durable.

Cette aspiration implique différentes tâches et objectifs spécifiques:

- Dresser l'état de l'art et de la pratique, au Québec et au niveau international, des processus d'évaluation des impacts des projets, politiques et plans de transport ainsi que de la définition et de la mesure de la durabilité appliquée au transport.
- Procéder à une évaluation critique des indicateurs recensés, identifier, définir et formaliser les indicateurs les plus pertinents en vue d'une application au niveau local ou métropolitain et évaluer les possibilités d'estimation des indicateurs identifiés au vue des banques de données disponibles.
- Accompagner les intervenants et proposer des développements méthodologiques pour assurer l'exploitation, dans le contexte québécois et plus particulièrement montréalais, des bases de données disponibles, leur bonification, notamment par fusion de données, leur



valorisation ainsi que faire progresser et adapter les méthodes de collecte de données en vue de rendre l'information recueillie apte à estimer les indicateurs identifiés.

- Formuler des cadres conceptuels d'évaluation des projets, politiques et plans de transport en milieu urbain, applicables à l'évaluation de projets types (intervention spécifique ou stratégie globale), proposer des indicateurs pour combler les aspects manquants et appliquer l'approche au suivi des impacts d'interventions précises de transport, ces interventions pouvant être locales ou globales.
- Assurer le transfert des connaissances et méthodes aux intervenants et favoriser l'échanger d'information et d'outils au niveau métropolitain.
- Former des spécialistes et du personnel hautement qualifié et participer à la formation continue des employés des organismes partenaires.
- Structurer et assurer le développement à long terme d'un pôle multidisciplinaire de recherche et de formation avancée en planification et modélisation des transports urbains à Montréal.

1.3 Structure générale de la Chaire

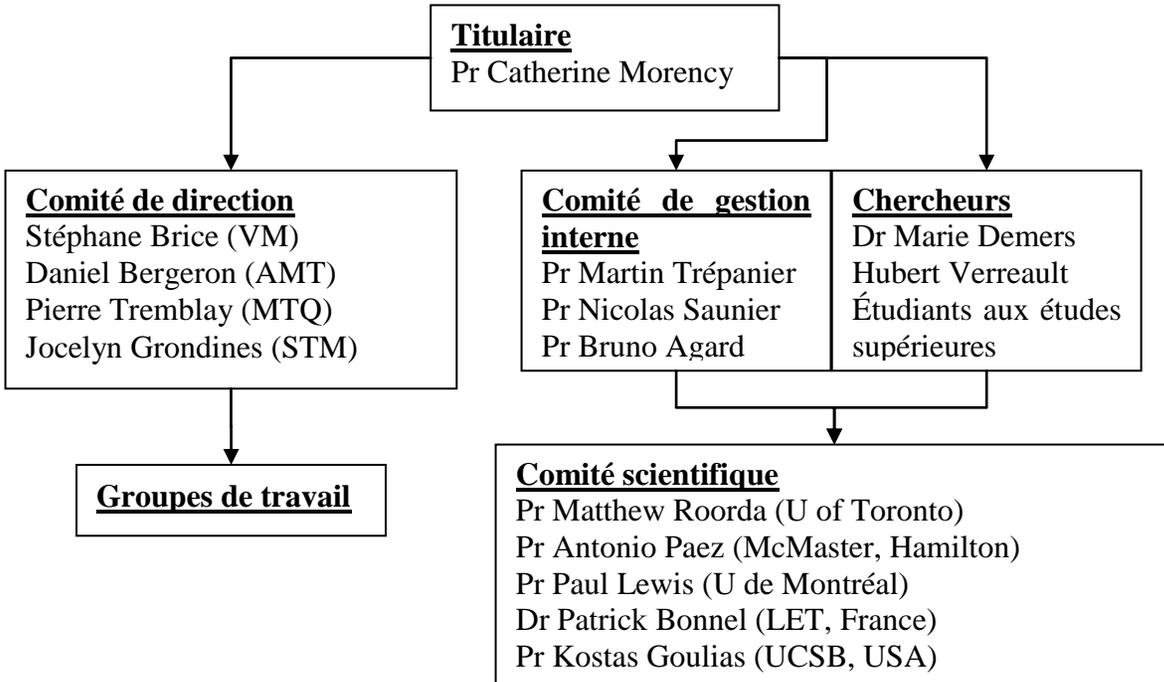
1.3.1 Partenaires

Les partenaires qui participent actuellement aux activités de la Chaire Mobilité sont :

- La Ville de Montréal (VM)
- L'Agence métropolitaine de transport (AMT)
- Le ministère des Transports du Québec (MTQ)
- La Société de transport de Montréal (STM)

1.3.2 Structure organisationnelle

La structure organisationnelle de la Chaire Mobilité est schématisée à la figure suivante et comprend trois comités ainsi que différents chercheurs et étudiants d'études supérieures en support technique et scientifique.



- Le **comité de direction** assure le suivi des travaux de la Chaire. Ce comité a le mandat d'appuyer le titulaire dans l'administration de la Chaire et l'orientation de ses activités. Il approuve le programme annuel de recherche et sa budgétisation, ainsi que le rapport annuel d'activité avec son bilan financier. Le comité se réunit deux fois par année. Des représentants de chacun des contributeurs financiers sont nommés par leur organisme pour y siéger. Les représentants actuels sont :
 - Ville de Montréal: Stéphane Brice
 - Agence métropolitaine de transport: Daniel Bergeron
 - Ministère des transports du Québec: Pierre Tremblay
 - Société de transport de Montréal: Jocelyn Grondines
- Le **comité de gestion interne**, dirigé par le titulaire de la Chaire, assure la coordination et le suivi des activités ainsi que l'allocation des fonds au sein de l'équipe de recherche.
- Le **comité scientifique**, composé de chercheurs internationaux spécialisés dans différentes thématiques de recherche de la Chaire, propose des éléments de réflexion sur les thématiques abordées et les choix méthodologiques faits. Il est 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 Paul Lewis : Institut d'urbanisme de l'Université de Montréal, Responsable du Groupe de recherche ville et mobilité (Développement urbain et immobilier, transport et aménagement du territoire)



- 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)

1.4 Contenu du rapport

Ce document fait état du travail réalisé dans la seconde année du mandat de la Chaire. Il s'inscrit donc en continuité du contenu du rapport précédent et vise à témoigner de l'avancement des différents travaux réalisés. Déjà, certains étudiants ont finalisé leur projet de recherche (maîtrise) et les mémoires constituent le témoignage détaillé de leur travail; ceux-ci sont disponibles en annexe. Le rapport est structuré comme suit.

- Une mise en contexte des activités de recherche de la Chaire est d'abord proposée.
- Ensuite, la section 2 discute des réflexions liées à l'évaluation de la durabilité ainsi qu'aux modalités de développement de cadres d'évaluation : une articulation autour de la prise en compte intégrée des mouvements des différents usagers de la route est initiée.
- La section 3 décrit l'état d'avancement des projets de recherche menés par des étudiants de maîtrise et doctorat, sous la supervision des chercheurs de la Chaire.
- La section qui suit fait état d'autres activités de recherche qui ne sont pas directement financées par la Chaire mais dont les thématiques sont néanmoins connexes et pertinentes à sa mission.
- La section 5 résume différentes activités de rayonnement et de publication des chercheurs de la Chaire.
- Différentes perspectives de recherche concluent le rapport.

Le rapport financier sera rendu disponible dans un document séparé (document non diffusé).

1.5 Cadre général de recherche

La démarche de recherche de la Chaire vise à contribuer à la mise en œuvre de la durabilité en transport; le schéma qui suit propose un cadre conceptuel qui oriente le choix des thématiques d'intérêt et qui délimite l'univers au sein duquel des contributions sont et seront réalisées. À terme, la Chaire espère contribuer à l'ensemble des éléments identifiés. Sans nécessairement être exhaustif, celui-ci assure la cohérence des recherches réalisées et leur capacité à alimenter une réflexion plus globale sur la mobilité durable. Sont encadrés en rouge les sujets qui sont directement traités par les projets actuels et en gris, les thématiques complémentaires abordées par les chercheurs de l'équipe par le biais d'autres projets et contrats de R&D. Ces thématiques sont évidemment hautement inter-reliées et abordées généralement dans le cadre de plusieurs projets.

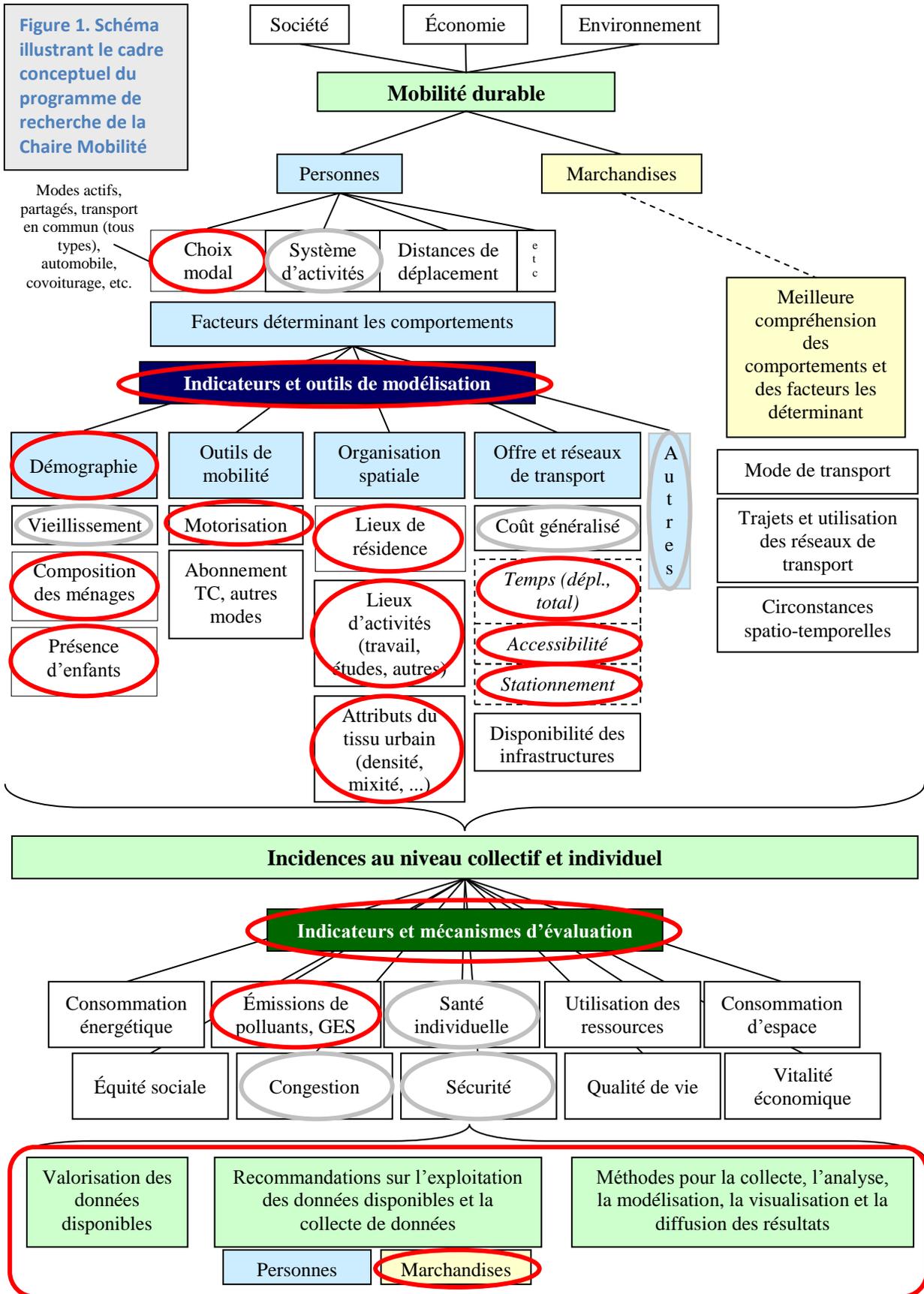
Quelques précisions s'imposent :

- Marchandises: les premiers travaux ont porté sur l'étude des méthodes de collecte de données, en vue de permettre la compréhension accrue de cette problématique en milieu urbain. De plus, un cadre intégré d'analyse du milieu urbain est en développement.



- Personnes : les travaux portent sur l'ensemble des modes de transport disponibles. Des analyses plus approfondies sur l'utilisation des systèmes d'autopartage et de vélopartage sont réalisées dans le cadre d'autres projets de recherche.
- Indicateurs et mécanismes d'évaluation : toutes les thématiques sont examinées mais certaines font l'objet de projets plus approfondies (cas de l'estimation des GES).
- Méthodes et données : toutes les thématiques impliquent la valorisation d'ensembles de données, l'identification de mécanismes permettant de les améliorer ainsi que le développement d'outils ou méthodes.

Figure 1. Schéma illustrant le cadre conceptuel du programme de recherche de la Chaire Mobilité





1.6 Équipe de recherche

Deux associés de recherche sont impliqués dans les activités de recherche, en plus des quatre professeurs chercheurs. Il s'agit de Marie Demers, docteure en épidémiologie et auteure du livre « Pour une ville qui marche » (Walk for your life) et d'Hubert Verreault, ingénieur civil et détenteur d'une maîtrise en transport de l'École Polytechnique de Montréal.

Des étudiants, notamment de **niveau maîtrise et doctorat**, sont impliqués dans les différentes thématiques de recherche et assurent le suivi continu auprès des partenaires par le biais de visites régulières. Les étudiants actuellement impliqués dans les activités de la Chaire sont :

→ **Louiselle Sioui** (doctorat, fin prévue : août 2013) : Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils.

Louiselle Sioui est diplômée du baccalauréat en génie civil de l'École Polytechnique de Montréal (ÉPM) depuis 2007. Elle a terminé en 2009 une maîtrise en Sciences de l'Environnement à l'Université du Québec à Montréal. Dans le cadre de cette maîtrise, elle a réalisé deux stages qui se sont déroulés respectivement chez Communauto inc. (entreprise d'autopartage à Montréal) et à l'École Polytechnique de Montréal sur la contribution des sociétés de transport collectif au développement durable. Louiselle est présentement au doctorat à l'ÉPM et son sujet de recherche porte sur les indicateurs de mobilité durable. Elle a complété dernièrement un stage de recherche de deux mois au Laboratoire d'économie des transports (LET) à Lyon.

- **Pegah Nouri** (doctorat, fin prévue avril 2014): Contributions aux méthodologies d'estimation des GES des déplacements motorisés

Pegah Nouri est diplômée de l'Université de Tehran en Planification urbaine et détient une maîtrise en sciences, géographie, planification et environnement de l'Université Concordia. Elle est actuellement étudiante au doctorat à Polytechnique et s'intéresse aux méthodes d'estimation des GES liés aux déplacements motorisés.

- **Jason Demers** (maîtrise COMPLÉTÉE) : Méthodologie de collecte et d'analyse de données sur les déplacements commerciaux

Jason Demers est détenteur d'un baccalauréat en génie civil de l'Université de Sherbrooke. Au cours de son cheminement, il a complété quatre formations de stage en entreprise. Deux stages se sont déroulés chez *Les Constructions Bricon ltée*, et les deux autres chez *BBA inc.* et au *Ministère des Transports du Québec*. Il a aussi reçu une bourse pour études à l'étranger afin de compléter une session d'études à l'*University of South Carolina*, aux États-Unis. Durant ses études à la maîtrise recherche, il a notamment agi comme chargé du cours de conception des routes au baccalauréat.

- **Audrey Godin** (maîtrise COMPLÉTÉE) : Mieux mesurer l'accessibilité et l'attractivité des réseaux de transport

Audrey Godin possède un baccalauréat en génie civil de l'École Polytechnique de Montréal. Elle a effectué trois formations de stages durant son parcours, tous dans le domaine du transport. Le premier s'est effectué à Transport Canada dans la ville d'Ottawa et les deux suivants à l'agence métropolitaine de transport dans le département planification et innovation. Elle a également reçu une bourse d'étude d'initiation à la recherche en transport en 2008. Durant ses études à la maîtrise,



elle a travaillé comme assistante de laboratoire auprès des élèves de 2^e et 3^e année du baccalauréat dans des cours relatifs au transport.

- **Éric Martel-Poliquin** (maîtrise, fin prévue : août 2012) : Étude des déterminants du choix modal

Il est détenteur d'un double diplôme de baccalauréat de l'Université de Sherbrooke (génie civil) et Bishop's (Liberal Arts) et a effectué différents stages au Ministère des transports du Québec. À l'automne 2010, il a été chargé de cours à l'École Polytechnique de Montréal pour le cours de conception des routes. Il a aussi été assistant de recherche au laboratoire de géotechnique et géoenvironnement de l'Université de Sherbrooke. Ses activités de recherche portent sur le marché actuel et potentiel des différents modes de transport.

- **Abdoulaye Diallo** (maîtrise, fin prévue : août 2012) : Méthodologie d'analyse des stationnements

Abdoulaye est titulaire d'un baccalauréat en urbanisme de la faculté de l'aménagement de l'Université de Montréal, a effectué un stage au ministère des Transports et Travaux publics en République de Guinée. Avant d'entamer ses études de deuxième cycle, il occupait un poste d'enseignant en mathématiques à l'école secondaire *Otapi* de la communauté Atikamekw de Manawan.

- **Félix Pépin**. (maîtrise, fin prévue : décembre 2012) : Analyse évolutive des comportements de mobilité des jeunes

Diplômé au baccalauréat en urbanisme à l'Université de Montréal (2007-2010), il entreprit sa maîtrise en transport à l'École Polytechnique en 2010. Dans le cadre de son mémoire, il s'intéresse à la mobilité des jeunes de la grande région de Montréal notamment par l'exploitation des bases de données issues des enquêtes Origines-Destinations réalisées au cours des 20 dernières années dans la grande région de Montréal. Ses travaux portant sur l'éloignement scolaire, effectués en collaboration avec Pr Catherine Morency, ont été présentés au 47^e congrès annuel de l'Association québécoise du Transport et des Routes (AQTR). Ils ont aussi été sélectionnés pour être présentés au congrès 2012 de l'International Association for Travel Behaviour Research (IATBR).

- **Sébastien Désilets**. (maîtrise, fin prévue : décembre 2012) : Tendances liées à la composition, la motorisation et la localisation spatiale des ménages

Issu d'une formation en urbanisme et ayant travaillé dans le milieu des communications durant 8 années, Sébastien s'intéresse à la dualité urbanisme-transport dans une approche de planification intégrée de l'aménagement du territoire. Au cours de stages, réalisés à la Société de transport de Montréal et à la Direction de Santé Publique de Montréal, il obtient des mandats au niveau de l'analyse de l'accessibilité et des déterminants des choix modaux. Il est récipiendaire des bourses Arbour et Hydro-Québec en plus d'avoir remporté le prix Forces Avenir en environnement en 2009. Il est également détenteur d'un certificat en administration.

- **Karl Labrie**. (maîtrise, fin prévue : décembre 2013) : Valorisation des données de la carte OPUS

Étudiant au Bac-Maîtrise en génie civil, orientation Transports. Terminant son parcours au Baccalauréat, il commencera une Maîtrise sur l'exploitation des données de carte OPUS en



septembre 2012. Sa première expérience en lien direct avec le domaine des transports fut son premier stage chez Communauto. Sa contribution fut au niveau de l'exploitation spatio-temporelle des données, ayant pour but d'améliorer la planification du réseau de la compagnie. L'été suivant, il fut embauché au Ministère des Transports du Québec comme ingénieur stagiaire en circulation. À ce poste, il est en charge, entre autres, de la microsimulation de grands projets sur l'île de Montréal. Il occupe ce poste depuis déjà un an.

- **Kinan Bahbough** (doctorat, fin prévue en mars 2015) : Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport - *Sujet proposé 2012-2013*.

Diplômé en génie civil de l'université de Damas en 2002, il a terminé ses études supérieures en gestion des risques et en management de l'environnement industriel et urbain à l'INSA de Lyon en 2006. Il a travaillé pendant 6 ans dans l'analyse et l'évaluation des risques ainsi que la mise en place des outils de gestion des risques Qualité, Sécurité, Environnement et Développement Durable sur des projets industriels et urbains.

Il vient de commencer son doctorat à Polytechnique de Montréal, il s'intéresse aux méthodologies d'évaluation d'impacts appliquées aux projets de transport, tout particulièrement, la méthode de l'analyse de cycle de vie.

- **Catherine Plouffe**. (maîtrise, fin prévue : août 2013) : Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal - *Sujet proposé 2012-2013*.

Elle a complété avec succès son BAC à l'Université de Montréal en démographie-géographie. Ce programme bidisciplinaire lui a permis d'acquérir une méthodologie minutieuse dans la manipulation des données de population ainsi qu'une connaissance pratique des analyses spatiales.

Parallèlement à sa formation, l'étudiante a acquis des expériences complémentaires pertinentes grâce à son poste d'assistante de recherche sous le Programme de recherche en démographie historique (PRDH), ainsi que par sa responsabilité de correctrice de travaux pratiques et d'examens de cours de transport au BAC à l'École Polytechnique.

- **Christine Théberge-Barette**. (maîtrise, fin prévue : août 2013) : Méthodologie d'estimation de la génération de déplacements aux lieux de résidence - *Sujet proposé 2012-2013*.

Christine Théberge-Barrette a complété son baccalauréat en Génie civil en 2011 à l'École Polytechnique. Elle a fait au cours de ses études un échange à l'international. Elle a travaillé au sein de l'équipe information stratégique et affaires métropolitaines de l'Agence métropolitaine de transport plus particulièrement en modélisation. Elle s'intéresse à la planification des transports et à la modélisation des réseaux routiers et de transports en commun. Ses études aux cycles supérieures se déroulent à la Chaire Mobilité de l'École Polytechnique et portent sur l'évaluation des déplacements générés par le développement résidentiel dans la région de Montréal.

1.7 Avancement des travaux

Des activités de recherche, qui se poursuivent en continu, ont été réalisées sur différentes thématiques, notamment la mesure de la mobilité durable, mais aussi sur des thématiques plus



ciblées qui permettront d'alimenter les exercices de planification, d'analyse et de modélisation des systèmes urbains et de transport dans une vision de soutien à la mobilité durable.

1.7.1 Mobilité durable : indicateurs et processus d'évaluation

La première année a permis de dresser un constat exhaustif des différents indicateurs disponibles et proposés de mesure de la durabilité en transport. Plusieurs constats ont été dressés suite à cet exercice et la Chaire *travaille actuellement* à 1) l'identification des indicateurs les plus pertinents, 2) le développement de méthodologies d'estimation de ces indicateurs et 3) l'articulation de cadres d'évaluation (chaînes de causalité, adaptation du concept d'analyse de cycle de vie).

1.7.2 Thématiques spécifiques

Plusieurs étudiants sont impliqués dans les activités de la Chaire, chacun étant responsable d'approfondir une thématique spécifique d'intérêt. Différentes thématiques sont donc abordées et l'état d'avancement présenté dans ce rapport dépend du cheminement particulier de chaque étudiant, certains amorçant tout juste leur démarche de recherche, d'autres l'ayant complétée.

- **Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes et outils.** Développer un système d'indicateurs permettant d'évaluer et comparer différents scénarios. Proposer des formulations adaptées d'indicateurs. Illustrer l'application d'indicateurs spécifiques. Doctorat de Louiselle Sioui – en cours : fin prévue en AOÛT 2013.
- **Amélioration des méthodes d'estimation des émissions polluantes liées aux véhicules routiers (Enhancing Emission Estimation from On-Road Vehicles).** Analyser différentes méthodes et outils d'estimation des GES et identifier leur niveau de précision et les besoins en données. Évaluer les avantages et désavantages des méthodes existantes et les défis liés à leur utilisation (données requises et complexité d'utilisation). Formuler des recommandations quant aux méthodes les plus adaptées pour répondre aux besoins. Expérimenter et évaluer MOVES. Doctorat de Pegah Nouri – en cours : fin prévue en AVRIL 2014.
- **Collecte de données sur les déplacements commerciaux.** Synthèse des travaux faits au Québec et en Amérique du Nord en matière de collecte de données et modélisation du transport des marchandises. Projets pilotes de collecte de données. Valorisation de données (comptages, enquête cordon, modèle urbain, parc véhiculaire, autres types d'enquêtes, etc.). Enjeux et recommandations méthodologiques pour assurer la disponibilité de données pertinentes dans le domaine. Maîtrise de Jason Demers –COMPLÉTÉE
- **L'accessibilité en transport : méthodes et indicateurs.** Inventaire des indicateurs et méthodes d'estimation de l'accessibilité aux réseaux de transport. Typologie d'indicateurs. Raffinement des indicateurs : variabilité spatio-temporelle et sensibilité au niveau de service. Potentialités des outils de cartographie. Maîtrise d'Audrey Godin –COMPLÉTÉE.
- **Mieux comprendre les déterminants du choix modal.** Étude des parts de marché actuelles et potentielles des différentes modes de transport, incluant les modes actifs et alternatifs. Classification de la population en segments (âge, genre et autres attributs) présentant des parts de marché similaires. Développement de modèles explicatifs des parts de marché. Maîtrise d'Éric Poliquin – en cours : fin prévue en AOÛT 2012.
- **Étude des stationnements en milieu urbain.** Rôle des stationnements comme outil de gestion de la demande de transport. Méthodologie d'approximation des capacités de stationnement dans les quartiers à partir de données d'enquêtes Origine-Destination

(inventaire théorique). Méthodologie de validation des inventaires théoriques de stationnement. Portrait de l'utilisation des espaces de stationnements : durées, motif et clientèles. Indicateurs d'utilisation des stationnements. Recommandations sur la collecte de données et la gestion des espaces. Maîtrise d'Abdoulaye Diallo – en cours : fin prévue en août 2012.

- **Valorisation des données de la carte à puce OPUS.** Méthodologie d'exploitation systématique des données de cartes à puce pour produire des indicateurs d'utilisation du service par les cartes (variabilité des comportements, classification des usagers, loyauté et rétention). Maîtrise de Jean-Sébastien Marcotte – études suspendues → Maîtrise de Karl Labrie – amorcée en septembre 2012.
- **Mobilité quotidienne des enfants : déterminants, caractéristiques et évolution.** Mieux comprendre la mobilité quotidienne des enfants dans la grande région de Montréal par l'étude des liens domicile-école et l'analyse des habitudes de déplacement. Évaluer l'incidence théorique collective des liens domicile-école. Analyser les comportements individuels de mobilité des enfants tels que révélés par les grandes enquêtes origine-destination montréalaises. Maîtrise de Félix Pépin – en cours : fin prévue en DÉCEMBRE 2012.
- **Tendances liées à la composition, la motorisation et la localisation spatiale des ménages.** Analyser l'évolution dans la composition des ménages (taille, âge des personnes), leur motorisation (et le niveau d'accès à l'auto à l'intérieur du ménage) et la localisation spatiale de leur domicile. Contributions potentielles au raffinement des modèles de prévision de la demande par une prise en compte de la typologie des ménages. Compréhension de l'incidence des propriétés du ménage sur les comportements individuels. Réalisation d'une enquête visant à comprendre les comportements de déménagements. Maîtrise de Sébastien Désilets – en cours : fin prévue en DÉCEMBRE 2012.

De nouvelles thématiques sont aussi en développement pour le programme de travail de la troisième année :

- **Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport.** Développement d'une méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport (tous modes confondus). Étude et évaluation de la pertinence de transposer le concept d'analyse de cycle de vie à l'étude d'un corridor. Doctorat de Kinan Bahboub – projet qui s'amorce (en cotutelle avec l'INSA de Lyon)
- **Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal.** Estimation de modèles descriptifs (différentes variables dépendantes relatives aux outils et comportements de mobilité) qui segmentent les effets liés à l'âge, à l'appartenance à une cohorte donnée ainsi que les effets de périodes qui touchent toute la population simultanément. Utilisation de 5 enquêtes Origine-Destination. Maîtrise de Catherine Plouffe – projet qui s'amorce.
- **Méthodologie d'estimation de la génération de déplacements aux lieux de résidence.** Développement d'un modèle statistique permettant d'estimer le nombre de déplacements, tous modes, liés aux unités de logement, qui se substituerait aux méthodes classiques (trip generation handbook) pour les lieux de résidence. Maîtrise de Christine Théberge-Barrette – projet qui s'amorce.

Le tableau qui suit présente la liste des projets de recherche des étudiants impliqués dans les travaux de la Chaire (boursiers ou financés partiellement ou totalement par la Chaire) ainsi que des détails concernant leur supervision.

Tableau 1. Liste des projets de recherche et étudiants-e-s

Thématique	Étudiant-e	Niveau	Début	Supervision¹	Complété / fin prévue
Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable: concepts, méthodes et outils	Louiselle Sioui	Ph.D.	Sept. 2009	CM	08/2013
Enhancing Emission Estimation from On-Road Vehicles	Pegah Nouri	Ph.D.	Janv. 2011	CM	04/2014
<i>Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport</i>	<i>Kinan Bahbouh</i>	<i>Ph.D.</i>	<i>Janv. 2012</i>	<i>CM / Cotutelle INSA Lyon</i>	<i>03/2015</i>
Méthodologie de collecte et d'analyse de données sur le transport par camion en milieu urbain	Jason Demers	M.Sc.A	Janv. 2010	CM/MT	☒
L'accessibilité en transport : méthodes et indicateurs	Audrey Godin	M.Sc.A	Sept. 2010	CM	☒
Mieux comprendre les déterminants du choix modal	Éric Poliquin	M.Sc.A	Janv. 2010	CM/BA	08/2012
Étude des stationnements en milieu urbain	Abdoulaye Diallo	M.Sc.A	Mai. 2010	CM/NS	08/2012
<i>Valorisation des données de la carte OPUS</i>	<i>Jean-Sébastien Marcotte</i>	<i>M.Sc.A</i>	<i>Sept. 2010</i>	<i>CM/MT</i>	<i>Études suspendues</i>
Analyse évolutive des comportements de mobilité des jeunes	Félix Pépin	M.Sc.A	Sept. 2010	CM	12/2012
Tendances liées à la composition, la motorisation et la localisation spatiale des ménages	Sébastien Désilets	M.Sc.A	Sept. 2010	CM	12/2012
<i>Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal</i>	<i>Catherine Plouffe</i>	<i>M.Sc.A</i>	<i>Sept. 2011</i>	<i>CM</i>	<i>08/2013</i>
<i>Méthodologie d'estimation de la génération de déplacements aux lieux de résidence</i>	<i>Christine Théberge-Barette</i>	<i>M.Sc.A</i>	<i>Sept. 2011</i>	<i>CM</i>	<i>08/2013</i>
Valorisation des données de la carte OPUS	Karl Labrie	M.Sc.A.	Sept. 2012	CM/MT	12/2013

¹ CM : Catherine Morency, MT : Martin Trépanier, BA : Bruno Agard, NS : Nicolas Saunier



2 Durabilité en transport

2.1 Les défis de la mesure de la durabilité en transport

En décembre 2011, la Pre Morency a participé, comme conférencière, au Colloque et tables de discussions « *Les défis de la mise en œuvre de la mobilité durable* » organisé par l'AQTR. Dans ce contexte, une réflexion sur les défis de la mise en œuvre de la durabilité en transport a été proposée; le contenu de la présentation est repris ci-dessous.

2.1.1 Rôle et propriétés des indicateurs

Les indicateurs doivent témoigner des enjeux et objectifs collectifs actuels (le développement durable par exemple) et permettre de dresser le diagnostic de la situation de référence ainsi que des différents futurs possibles et souhaitables.

Les indicateurs devraient assurer l'objectivité et la transparence du processus de prise de décision et permettre la comparaison de scénarios. Ces indicateurs devraient être rigoureux, valides, pertinents, informatifs, reproductibles, fiables, comparables, etc.

2.1.2 Objectifs et enjeux liés au développement durable en transport

Avant d'élaborer des indicateurs, il convient d'énoncer des enjeux et objectifs liés au développement durable appliqué au transport.

Social

- Accessibilité (réduction des distances et des coûts)
- Équité sociale
- Qualité de vie des résidents et des voyageurs
- Autonomie des personnes (se déplacer sans recourir à un tiers)
- Sens de la communauté (cohésion sociale – sentiment d'appartenance – engagement civique)
- Exclusion sociale – isolement – ségrégation

Environnemental

- Consommation d'espace, fragmentation des habitats naturels et réduction de la biodiversité
- Asphaltage : imperméabilité du sol et ruissellement des eaux de surfaces
- Ressources naturelles et énergies fossiles
- Qualité de l'air et changements climatiques
- Niveau sonore

Économique

- Coût de transport pour les ménages (véhicules, carburant, stationnement, réparations, assurances)
- Part du PIB allant au transport
- Valeur foncière des propriétés (et transport collectif)
- Congestion et productivité
- Infrastructures liées à l'étalement urbain (aqueduc, égout, éclairage, électricité)



- Emplois liés au transport
- Coûts découlant des accidents

2.1.3 Constats

Les réflexions conduites autour des indicateurs et des défis de mesure liés à la mise en œuvre de la durabilité en transport ont mené à cinq principaux constats.

Fouillis

La recension des écrits et travaux a permis d'identifier au-delà de 350 indicateurs liés à la mobilité durable. Il existe donc déjà plusieurs indicateurs couvrant les trois sphères du développement durable mais :

- Plusieurs sont redondants et témoignent fondamentalement du même phénomène (double-comptage);
- Il est souvent difficile de comprendre comment sont (devraient) être estimés les indicateurs (obscurité des méthodologies d'estimation);
- La pertinence des indicateurs est discutable;
- On fait souvent face à des données absentes, "proxy" ou partielles dans l'espace et le temps, ce qui compromet les capacités d'estimation

Déséquilibre

Cycliquement, certains indicateurs occupent un poids très (trop?) important dans la « grille »: Économie – GES :

- La sélection des indicateurs amène une distorsion du processus d'évaluation;
- Effets paradoxaux, impacts indirects / non prévus qui peuvent aller à l'encontre des objectifs visés de développement durable;
- les aspects, souvent sociaux, ne sont pas considérés car plus difficilement quantifiables.

Opportunisme

Trop souvent, le choix des indicateurs est dicté par la capacité de les mesurer et non par leur pertinence :

- On tient compte de ce qu'on arrive à mesurer, souvent au détriment d'autres aspects plus flous ou qualitatifs;
- Il n'y a pas de cadre conceptuel qui permette, a priori, d'identifier les enjeux/objectifs à documenter puis d'en déduire les indicateurs requis.

Réduction économique

On tient compte des aspects environnementaux et sociaux en attribuant une valeur économique aux impacts:

- \$ par tonne de CO₂, \$ par vie humaine;
- Il n'est généralement pas simple (et objectif) d'attribuer une valeur à certains concepts: par exemple, quelle est la valeur économique de l'autonomie d'une personne âgée?
- Cette pondération (ou toute autre pondération) traduit une échelle de valeurs et implique un positionnement +/- objectif, souvent contestable et difficilement transposable.



Uni-dimensionnalité

Absence de compréhension / prise en compte des liens de causalité et des spatio-temporalités des impacts:

- Les indicateurs sont souvent examinés séparément malgré les multiples interdépendances / corrélations;
- Leurs portées spatiale et temporelle sont ignorées: les estimations sont ponctuelles;
- L'hétérogénéité des impacts au sein des groupes de population est souvent négligée.

2.1.4 Vers la mesure de la durabilité en transport : étapes

Typologie d'indicateurs

- ... de **mobilité**: motorisation, déplacements;
- ... de **contexte**: état des lieux, caractéristiques des personnes;
- ... **d'intrants** (input): coûts et ressources pour réaliser les extrants;
- ... **d'extrants** (output): éléments ajoutés au système pour atteindre les objectifs visés;
- ... **d'impacts** (intermédiaires, directs/indirects, ultimes): tous ce qui a trait aux conséquences de la mobilité (changement produit par les interventions effectuées)

Raffinement méthodologique

- Selon l'échelle **spatiale**:
 - Locale (quartier, ville, segment d'autoroute), régionale, nationale, ...
- Selon l'échelle **temporelle**:
 - Durée des effets (temporaires vs permanents)
 - Occurrence des effets (immédiats vs différés)
- Selon l'étendue / la **portée**:
 - Toute la population, segment de population
- Selon la nature des effets
 - Effets directs vs indirects
 - Effets prévisibles vs inattendus

Structuration

- **Sélectionner** les indicateurs les plus pertinents i.e. qui permettent de documenter les enjeux et objectifs;
- **Définir et formaliser** ces indicateurs;
- Proposer une **méthodologie** d'estimation 1) avec les **données disponibles** et 2) celles **qu'on doit recueillir**;
- Expliciter les **liens de causalité** entre objectifs, interventions, impacts;
- Structurer sous forme de **système** pour assister l'analyse de projets et la comparaison d'alternatives.



Faire face aux défis

- Assurer la **transparence** des méthodologies d'estimation;
- Outiller la collecte de données **en continu** pour permettre le “*monitoring*” (système ou enquête);
- **Organiser** les indicateurs sous forme de système épuré, réduisant la redondance et tenant compte des liens de causalité;
- Assurer la prise en compte **équitable** des trois sphères;
- Changer de paradigme! Intégrer les **indicateurs qualitatifs**: qualité de vie, autonomie, etc.

2.2 Perspectives pour le développement d'un cadre d'analyse et d'évaluation intégré personnes – marchandises – services

Les activités de recherche de la Chaire visent, à **moyen terme**, à développer un cadre intégré d'analyse et d'évaluation du système urbain qui intègre les besoins des différentes clientèles ainsi que les incidences de leur mobilité sur les différents réseaux de transport. Déjà, plusieurs recherches s'intéressent à la mobilité quotidienne typique des personnes à l'aide de différents modes classiques et alternatifs. Bien que cet aspect soit très important en milieu urbain, il ne permet pas de mesurer correctement l'utilisation globale des différentes infrastructures et réseaux de transport. Il existe plusieurs ensembles de déplacements qui ne sont actuellement pas intégrés dans les analyses visant à comprendre les impacts de la mobilité. Il peut s'agir de déplacements non enquêtés (longue distance, faits par des non-résidents du territoire d'enquête), de clientèles non mesurées (touristes), de déplacements faits pour des motifs autres que personnels (livraisons, sur la route), ou faits par des véhicules commerciaux et de service (flotte de taxi, véhicules municipaux, camions, etc.). Comprendre correctement les niveaux d'utilisation des réseaux ainsi que les impacts d'interventions ou stratégies implique d'identifier correctement les différents usagers des réseaux et de mesurer leur mobilité.

Dans ce contexte, une réflexion visant à développer un cadre intégré d'analyse et d'évaluation personnes – marchandises – services a été amorcée. Les sections qui suivent s'intéressent plus spécifiquement aux déplacements découlants du transport de marchandises et d'offre de services divers. Les réflexions devraient permettre d'identifier quels usagers ou déplacements doivent être considérés dans l'étude d'éléments divers de réseau (une route spécifique – locale / artère / autoroute -, un quartier, un corridor, etc.) et quels sont leurs comportements respectifs. Il reste encore des réflexions à faire pour spécifier **comment** s'effectuera l'intégration de toutes les composantes dans un même cadre pour soutenir des exercices de modélisation qui permettront de considérer l'ensemble des usagers des réseaux. Les réflexions se poursuivront dans les prochaines années.

2.2.1 Contexte

Dans le contexte où peu de données sont disponibles pour développer une connaissance quantitative de la mobilité des marchandises, cette amorce de réflexion méthodologique vise plus spécifiquement à préciser les éléments à prendre en compte préalablement à la mise sur pied de méthodes de collecte de données sur le transport de marchandises par camion en milieu urbain. Il s'agit plus de présenter une démarche logique préalable à la réalisation d'enquêtes que d'énoncer des conclusions définitives quant à la méthodologie d'enquêtes ou autres types de collecte proprement dite.



Rareté des données et des enquêtes

Qu'il s'agisse de la place du transport de marchandises dans le trafic urbain, ou plus spécifiquement, des volumes transportés, des itinéraires empruntés et des distances parcourues, un consensus se dégage à l'effet que l'information disponible est rare, et ce, malgré les enjeux majeurs qui y sont associés et l'intérêt grandissant des décideurs publics pour la question. Aussi récemment qu'en avril 2012, le Centre d'analyse stratégique de la République française soulignait que « *l'organisation de la logistique urbaine et de ses flux associés reste encore très peu connue à travers le monde* » et il se prononçait sur la nécessité de mise au point de méthodes d'enquête et d'indicateurs pour mieux connaître l'organisation des flux de marchandises en zone urbaine (Centre d'analyse stratégique, 2012).

Au Québec, l'Équipe du Plan de transport de Montréal a produit un portrait du transport des marchandises dans la région en 2005, dans lequel les quelques données rapportées remontent à la décennie 1990 (Équipe du Plan de transport, 2005). Pour sa part, le « *Portrait sommaire du transport routier dans le Grand Montréal* » réalisé en 2011 pour la Communauté métropolitaine de Montréal fait état des infrastructures et de la réglementation, mais fait peu de cas des flux de marchandises, ce qui vient confirmer les carences à ce chapitre (AECOM Consultants, 2011).

Si les données relatives au transport de marchandises font défaut, il en va de même des indicateurs pouvant servir à le qualifier et à le quantifier. L'Association des transports du Canada ne leur accorde qu'une place limitée dans sa quatrième enquête sur les indicateurs de transports urbains réalisée en 2006 (ACT, 2010). Considérant que les indicateurs traditionnels – principalement mis au point pour étudier le transport de longue distance – étaient peu pertinents au niveau urbain, des chercheurs Français ont récemment établi une liste d'indicateurs propres au transport des marchandises en ville à partir des enquêtes « *établissements-chauffeurs* » (Patier et Routhier, 2009). Au Canada, une série d'indicateurs de performance associés aux impacts des politiques relatives au transport de marchandises en ville ont été identifiés (Roorda, 2011).

Complexité du transport des marchandises

La rareté des données et des enquêtes relatives au transport de marchandises comparativement à celles caractérisant les déplacements des personnes s'explique en bonne partie par la complexité de la question. La complexité du transport des marchandises est liée non seulement à la multiplicité des acteurs en jeu – et au fait qu'ils proviennent pour la plupart du secteur privé et sont souvent en compétition entre eux, ce qui n'incite pas au partage des données – mais elle découle aussi de la diversité des marchandises, de la généralisation de l'usage des technologies d'information et de communication, ainsi que de la complexité accrue de la chaîne logistique : la globalisation des marchés, la fragmentation de la production et les pratiques logistiques elles-mêmes, comme le juste-à-temps et le commerce électronique, ont entraîné une hausse phénoménale et souvent imprévisible des flux (Demers, 2010). De plus, dans bien des cas, ce n'est plus l'acheteur qui se déplace vers le produit, mais plutôt le contraire (Escoffier, 2000); on assiste en effet à une hausse accrue des livraisons à domicile. Enfin, la logistique inverse – qui a pris plus d'importance avec l'essor de l'industrie électronique et la pratique de l'obsolescence planifiée – contribue à l'accroissement des flux, non pas à destination du consommateur, mais en direction de ceux qui assurent la prise en charge des produits défectueux ou en fin de vie.

Les nouvelles exigences de la chaîne logistique – rapidité, flexibilité, fiabilité, personnalisation de masse – ont eu pour effet d'augmenter la fréquence des livraisons et de diminuer la taille des lots envoyés – particulièrement en milieu urbain – entraînant ainsi le recours massif à une flotte de

véhicules plus légers. Les entreprises en sont aussi venues à confier la gestion du transport à des tiers externes, multipliant par la même occasion le nombre d'intervenants. Enfin, la croissance des activités de services et de sous-traitance de ces dernières a contribué de façon substantielle à l'augmentation des déplacements dans les zones urbaines (Browne, 2000). Le schéma suivant, qui fait état uniquement du transport des marchandises en ville, illustre bien cette complexité.

Le TMV : un monde complexe :

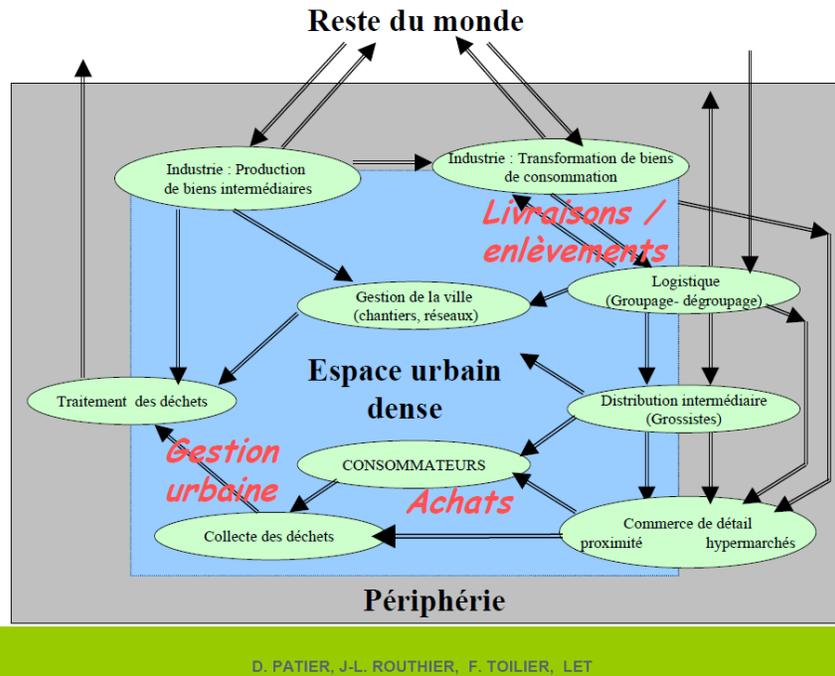


Figure 2. Le Transport des marchandises en ville: un monde complexe (http://www.certu.fr/fr/IMG/pdf/J1-1-TMV_JLRouthier.pdf)

Spécificité des déplacements de marchandises en milieu urbain

Les constats présentés à la section précédente permettent d'appréhender une complexité encore plus grande des flux en milieu urbain comparativement aux déplacements interurbains, ce qui explique sans doute que les enquêtes disponibles portent davantage sur ces derniers. En ville, les camions ne font pas qu'entrer et sortir – d'ailleurs dans de nombreux cas, les flux sont uniquement internes. Selon une enquête réalisée dans la grande région de Toronto-Hamilton, les tournées internes constituent la grande majorité des déplacements de camions et du kilométrage parcouru en milieu urbain (McMaster Institute for Transportation & Logistics, 2010). Les déplacements s'effectuent sur toute la hiérarchie du réseau, de l'autoroute à la rue locale, et de plus en plus souvent jusqu'au domicile du consommateur final. Les parcours possibles sont plus diversifiés et moins linéaires que pour le transport interurbain. Les distances parcourues sont courtes et les arrêts de livraison sont fréquents. L'occupation de la voirie doit donc tenir compte à la fois des véhicules en circulation et des véhicules stationnés. De plus, on y déplace non seulement des marchandises, mais aussi des équipements pour les services municipaux ainsi que pour les services privés aux particuliers. Cet aspect sera abordé plus en détail dans la typologie présentée plus bas et qui permet de mieux saisir la spécificité des flux de marchandises en ville. La logistique inverse prend aussi une importance capitale en milieu urbain car les flux relatifs à la prise en charge des produits en fin de vie ou défectueux originent souvent du consommateur final.



Au-delà de ces particularités, il semble que les flux de marchandises en milieu urbain soient indépendants des caractéristiques de la ville dans laquelle ils ont cours. Ainsi, « *quelle que soit la ville (sa géographie, ses réglementations, etc.), les livraisons seront effectuées de façon plus ou moins similaire et aucune logistique particulière ne sera mise au point pour une ville donnée* » (Dablanc, 2007).

2.2.2 Étapes préalables à la réalisation d'une enquête (ou de la mise en place d'un processus de collecte de données)

Ces étapes visent à répondre à certains questionnements relatifs à la réalisation d'une enquête sur les flux de marchandises en ville :

- À quel(s) enjeu(x) l'enquête doit-elle répondre? Quels sont les objectifs poursuivis?
- Quelles sont les connaissances préalables à la tenue d'une enquête?
- Quelles variables pertinentes serviront à définir les indicateurs?
- Auprès de qui l'enquête peut-elle être menée?

Les données sur le transport routier pertinentes à la planification du transport urbain de marchandises ont été couvertes de façon plus exhaustive par Kriger et collaborateurs (2007) dans le « *Cadre de collecte de données de qualité supérieure sur le transport urbain des marchandises au Canada : Phase 1* » préparé pour l'Association des transports du Canada.

Préciser les enjeux

Il importe d'abord de préciser les enjeux auxquels on souhaite répondre. Ceux-ci sont multiples et une seule collecte de données ne suffit pas à les prendre en compte dans leur globalité. Il peut s'agir de :

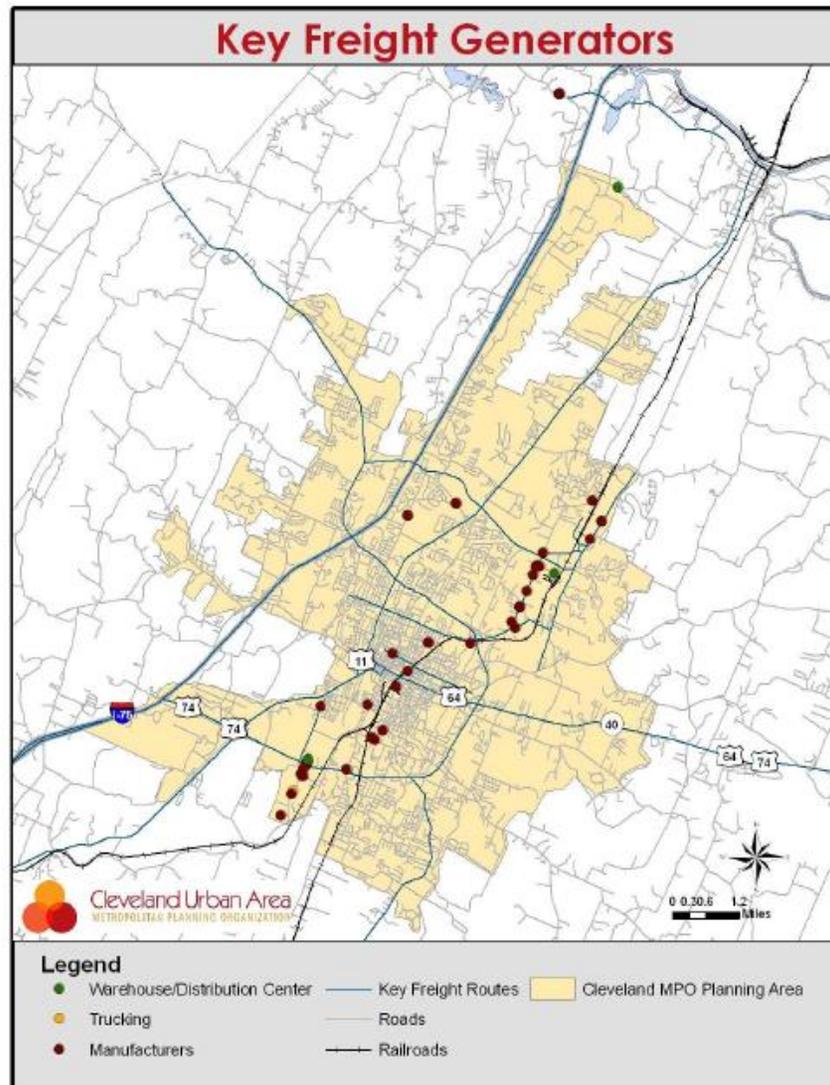
- Limiter la congestion, l'encombrement de la chaussée, la pression sur les infrastructures
- Réduire les émissions de GES et les autres polluants atmosphériques
- Optimiser les déplacements (efficacité économique)
- Améliorer la qualité de vie en milieu urbain
- Cohabitation avec transport des personnes
- Harmonisation avec la vie urbaine
- Réduire les accidents et les autres nuisances comme le bruit
- Améliorer la réglementation municipale
- Contribuer à la planification des aménagements (de voirie, urbain)

Compiler les connaissances pertinentes préalables

Une autre étape consiste à compiler les connaissances pertinentes avant d'établir la méthode de collecte. Les thématiques suivantes ont intérêt à être documentées préalablement à l'enquête proprement dite :

- Infrastructures de transport
- Principaux corridors de transport de fret
- Parc de camions: nombre, taille, type, âge
- Localisation des centres de distribution, entrepôts, commerces, entreprises manufacturières, entreprises de camionnage, parcs industriels
- Gros générateurs de flux
- Typologie des flux selon la hiérarchie du réseau

- Implantation et usage des STI
- Politiques et réglementations municipales
- Aménagement urbain et zonage propres au territoire à l'étude
- Autres modes de transport des marchandises en ville



Source: Cleveland-Bradley Chamber of Commerce, 2009 Industrial Directory.

Figure 3. Exemple de cartographie des principaux générateurs de flux routiers de marchandises sur le territoire de la ville de Cleveland, Ohio en 2009 (<http://www.cityofclevelandtn.com/MPO/Cleveland%20FMSF112.pdf>)

Identifier les acteurs (objets) et documenter leur rôle

L'identification des principaux acteurs (objets) aidera à préciser auprès de qui l'information peut être recueillie. Dans le « *Cadre de collecte de données de qualité supérieure sur le transport urbain des marchandises au Canada – Phase 1* », l'on rapporte que les enquêtes devraient couvrir trois types de sources d'information : les établissements (expéditeurs et destinataires), les distributeurs et les transporteurs (Kriger et al, 2007). Ils peuvent se décliner comme suit :

- Les expéditeurs
 - Entreprises manufacturières

- Commerces de gros et de détail
- Consommateurs
- Les transporteurs
 - Entreprises de camionnage
 - Intégrateurs logistiques
 - Chauffeurs-livreurs
- Les destinataires
 - Entreprises manufacturières
 - Commerces de gros et de détail
 - Consommateurs ou autres clients ultimes
- Les terminaux
 - Centres de distribution
 - Entrepôts
 - Plates-formes logistiques
 - Terminaux intermodaux (ports, aéroports, gares ferroviaires)

Selon la figure précédente, les marchandises se déplacent des expéditeurs vers les terminaux et destinataires par le biais des transporteurs, les mouvements terminaux – transporteurs sont bi-directionnels. En outre, une entreprise, voire un consommateur, peut à la fois être expéditeur et destinataire selon l’opération à l’étude.

Le rôle majeur des centres de distribution (et des entrepôts) ainsi que des entreprises manufacturières dans la génération des flux routiers est illustrée dans les deux figures qui suivent par le profil des flux routiers de marchandises dans la région d’Augusta, Georgia.

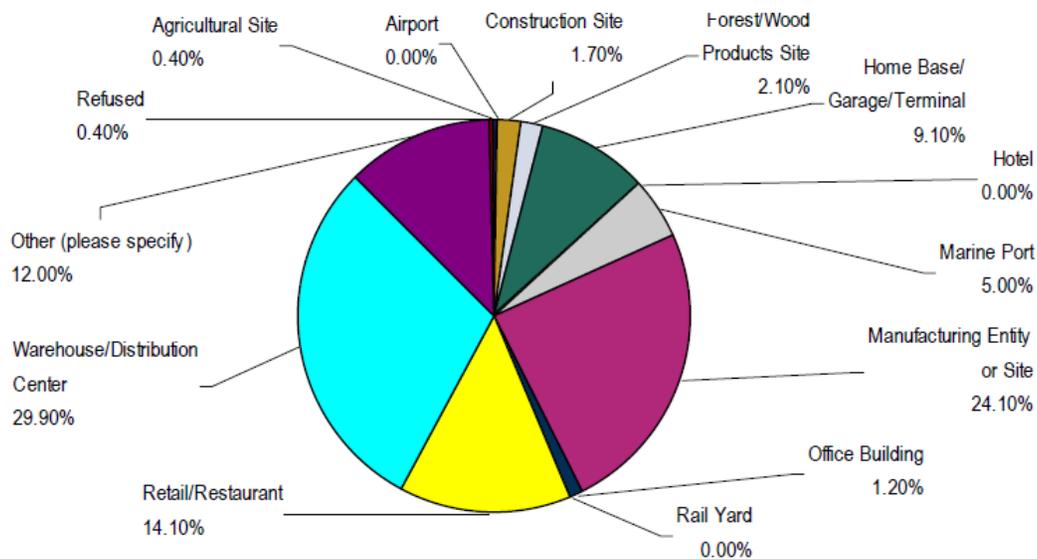


Figure 4. Destinataires des flux de marchandises dans la région d’Augusta, Georgia en 2006

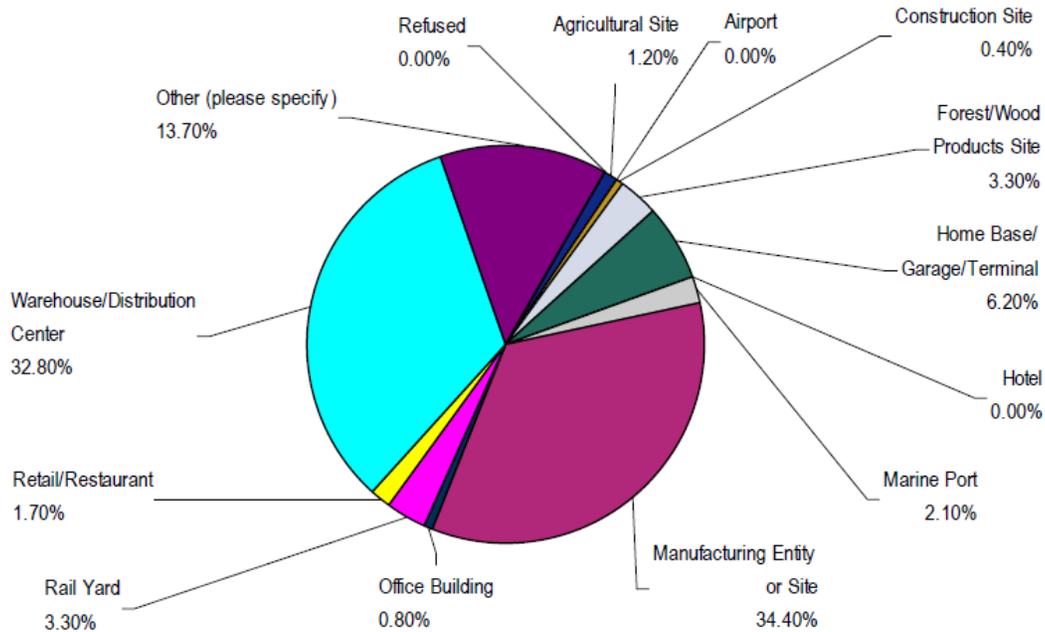


Figure 5. Origine des flux de marchandises dans la région d’Augusta, Georgia en 2006

Déterminer les propriétés et variables à mesurer

Avant de mettre au point les indicateurs, il est utile de déterminer les propriétés et variables à mesurer selon les objectifs poursuivis :

- Occupation de la voirie
- Horaires de livraison
- Fréquences de livraison
- Récurrence des livraisons (prévisibilité)
- Itinéraires (incluant provenance et destination)
- Distances parcourues
- Volumes transportés, taux de chargement
- Nombre, taille et type de camions
- Nature des produits (périssables, réfrigérés, dangereux, etc.)
- Espaces de stationnement (sur rue, aires dédiées)
- Durée des arrêts pour livraison
- Consommation d’énergie, émissions de polluants, bruit

2.2.3 Typologie des flux de marchandises

Les tentatives pour établir une typologie des flux de marchandises en milieu urbain sont peu nombreuses. Bien que couramment utilisée en logistique urbaine, la catégorisation en B2B (business to business), B2C (Business to consumer), C2C (Consumer to consumer) et C2E (Consumer to employee) nous apparaît insuffisante ici. Une typologie visant à rendre compte de l’ensemble des grandes fonctions d’échange dans les villes a été présentée par Routhier (2001). Poursuivant plus loin l’analyse, il nous est apparu utile de mettre au point une typologie qui tiendrait compte de la hiérarchie du réseau routier en ville. Cette approche spatiale a l’avantage de spécifier les flux propres à chaque niveau du réseau, documentant ainsi la sollicitation du réseau routier. Une telle typologie a notamment pour utilité de pointer les secteurs à examiner selon

l'objectif poursuivi. Ainsi, si le but est d'étudier la congestion, la première catégorie sera peu pertinente; par contre, elle le deviendra si l'on s'intéresse à la qualité de vie en milieu urbain. Dans le cas des émissions de gaz à effet de serre, toutes les catégories seront pertinentes. Les objectifs poursuivis et les catégories de flux retenues aideront ensuite à préciser auprès de quels acteurs la collecte devrait être effectuée.

À dessein, cette typologie exclut les déplacements d'achats effectués par les consommateurs eux-mêmes, déjà bien documentés dans les enquêtes Origine-Destination malgré le fait que les volumes, poids et valeurs des marchandises transportées ne soient pas connus. Dans un souci d'exhaustivité, sept catégories ont été créées, en partant du niveau local pour aller vers les niveaux supérieurs.

Typologie des flux de marchandises en milieu urbain en fonction de la hiérarchie du réseau

1. Déplacements occasionnés par les services à domicile :
 - Déplacements de marchandises (incluant matériaux)
 - Déplacements d'équipements
2. Approvisionnement des commerces de proximité (à moins d'1 km du domicile) et retour des produits invendus ou défectueux
3. Approvisionnement des centres commerciaux et des « power centers »
4. Approvisionnement des bureaux, établissements d'enseignement, CLSC, centres de recherche, hôpitaux, hôtels, banques (parfois réseau local)
5. Approvisionnement des entreprises de fabrication (à partir des fournisseurs et sous-traitants) et distribution des produits sortants (à destination d'entrepôts, de commerces ou du consommateur ultime, celui-ci pouvant être une entreprise ou un particulier)
6. Marchandises à destination et en provenance des ports et aéroports
7. Déplacements de marchandises en transit (principalement autoroutes)
8. Cas particulier des chantiers de construction, à chaque niveau du réseau routier (approvisionnement des chantiers de construction résidentielle, commerciale, routière et autres)

La figure qui suit résume une partie des interactions entre types de déplacements, types de véhicules, objets urbains et réseaux routiers impliqués.

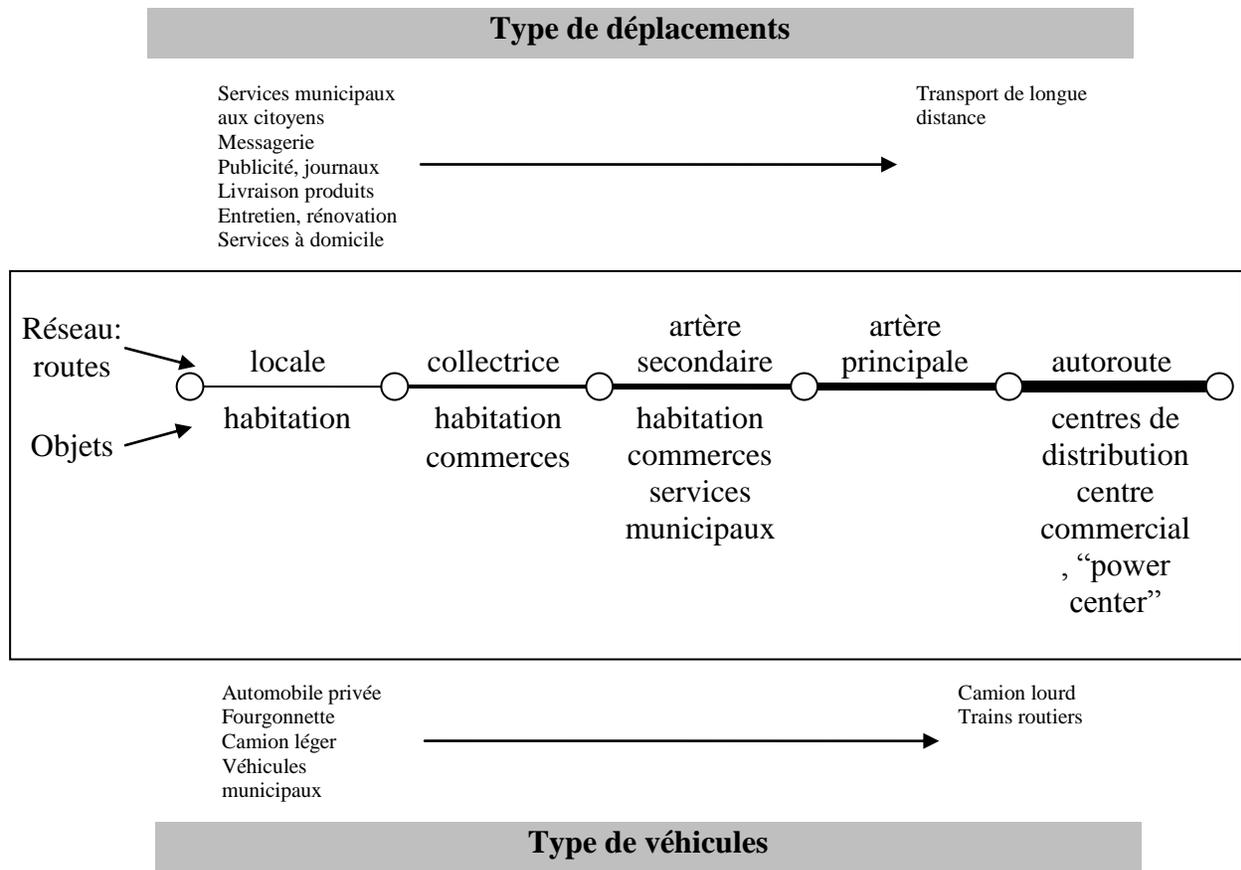


Figure 6. Relations entre type de déplacement, type de véhicules, objets urbains et réseau routier

Afin de donner une meilleure idée de l'ampleur du trafic de marchandises sur le réseau local, les flux routiers associés aux catégories 1 et 2 ont été examinés plus en détail.

Catégorie 1 - Déplacements occasionnés par les services à domicile

La plupart de ces déplacements se caractérisent plus par les services offerts que par le transport de marchandises proprement dit. Dans certains cas, le volume de marchandises est minimal. Parfois, il s'agit plutôt d'équipements ou d'une combinaison de marchandises et d'équipements (en italique). Tous ces services impliquent un déplacement jusqu'au domicile des ménages. À l'exception des services municipaux, des services de déménagement et de distribution d'huile à chauffage, la plupart sont faits à l'aide de camions légers ou en automobile.

Services municipaux aux citoyens

Entretien des bornes fontaines et des grilles d'égout

Nettoyage et déneigement des rues et trottoirs

Cueillette des ordures ménagères

Cueillette des matières recyclables

Cueillette du compostage

Services de messagerie publics et privés

Postes Canada, UPS, Fedex, Purolator, Dicom, etc.



Publicité, journaux

Publi-sac, journal (un segment à pied, un segment en auto, fourgonnette ou camion léger)

Services de livraison de meubles et autres gros morceaux (ex. armoires de cuisine, baignoires, douche, matériaux de construction)

Entretien et rénovation domiciliaire

Plombier

Électricien

Peintre

Entreprises de rénovation/réparation

Services de câblodistribution et de téléphonie

Nettoyage de tapis et de meubles

Tonte et soins de pelouse, nettoyage de gouttières

Émondage, élagage des arbres, aménagement paysager

Services de déneigement privé

Services pour les dégâts d'eau et de feu

Services d'exterminateurs

Services de livraison des centres jardins (incluant terre, sable et gravier en vrac)

Huile à chauffage et gaz propane

Services de nettoyeurs à sec de vêtements

Livraison de bagages à domicile

Livraison de sapins de Noël

Services de dépannage/remorquage d'auto

Services de déménagement

Services aux personnes à domicile

Livraison de médicaments

Prestation de soins de santé

Popote roulante

Service de livraison des restaurants, supermarchés et autres services alimentaires (paniers biologiques, produits de la ferme, repas préparés, boulangerie, aide alimentaire aux démunis)

Services de chef/traiteur à domicile (non seulement les produits, mais les personnes)

Livraison des fleuristes

Livraison d'eau de source

Services à domicile pour animaux de compagnie (soins, entretien, produits et bouffe)



Catégorie 2 - Approvisionnement des commerces de proximité (à moins d'1 km du domicile) et retour des invendus

La liste de commerces et services ci-dessous présente ceux qui sont les plus susceptibles d'être localisés à proximité des zones résidentielles.

- Supermarché (corporatif, franchisé, indépendant)
- Tabagie/dépanneur
- Boulangerie/pâtisserie
- Succursale SAQ
- Pharmacie
- Quincaillerie
- Restaurant/casse-croûte/café
- Bar/brasserie
- Commerce électronique
- Boucherie/poissonnerie
- Garage/lave-auto
- Station d'essence
- Salon de coiffure/barbier
- Clinique médicale/dentaire
- Bureau de poste
- Banque
- Librairie/magazines/journaux
- Vidéoclub
- Fleuriste
- Boutique de décoration
- Boutique de vêtements
- Bijouterie
- Centre de conditionnement physique

2.2.4 Perspectives

Il n'existe pas encore de processus systématique de collecte de données sur les déplacements des camions en milieu urbain, ce qui rend la modélisation intégrée beaucoup plus complexe. Les sections précédentes ont permis au moins d'illustrer la complexité de la tâche, d'énumérer les différents acteurs qui ont une incidence sur l'utilisation des infrastructures de transport et de proposer une typologie des flux de marchandises. Le portrait n'est pas encore complet mais permet de réfléchir de façon plus structurée à la préparation d'une stratégie d'accès aux données qui permettrait de documenter certains aspects représentatifs de ces déplacements. Les travaux sur la question se poursuivent.

3 État d'avancement des thématiques spécifiques

Ce chapitre présente l'état d'avancement des différents travaux de recherche menés par les étudiants et chercheurs de la Chaire. Dans le cas des travaux étudiants, il faut rappeler que ceux-ci disposent d'un certain degré de liberté académique dans la formulation et le choix des orientations. Aussi, il faut garder à l'esprit que les projets ne sont pas tous au même niveau d'avancement et que les étudiants ont des niveaux de maturité scientifique différents. Tous ces aspects sont appelés à évoluer et les contributions finales seront plus approfondies et mieux structurées. Les textes ci-dessous témoignent d'une compréhension actuelle et seront renouvelés avec la progression des étudiants et thématiques. La formation de personnel hautement qualifié est au cœur du mandat de la Chaire et les implications étudiantes assurent justement une relève bien au fait des problématiques actuelles.

3.1 Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils – le cas des indicateurs de congestion

- Étudiante : Louiselle Sioui (doctorat)
- Supervision : Morency
- État : Examen de synthèse réussi, recherche en cours (fin prévue : décembre 2012)
- Financement : Boursière CRSNG / FQRNT

3.1.1 Introduction

Alors que l'on réalise actuellement que la congestion amplifie les effets néfastes de l'utilisation de l'automobile sur les temps de déplacement, la santé publique, l'environnement et l'économie, il apparaît logique de supposer qu'à demande constante, une réduction de la congestion réduirait ces effets. Dans ce cas, la réduction de la congestion résulte de l'élimination des dysfonctionnements ponctuels du réseau de façon à maximiser les flots passant sur les voies existantes.

Une autre logique de solution pour réduire la congestion suppose une réduction de la demande automobile résultant d'un transfert de l'utilisation de l'automobile vers l'utilisation de modes de transport alternatifs à plus grande efficacité énergétique, comme les transports collectifs et actifs.

Ainsi, selon ces deux scénarios, on présume qu'une diminution de la congestion engendre une augmentation de la vitesse des véhicules et ainsi une réduction des temps de parcours. Ces deux conséquences escomptées diminuent la consommation de carburant, les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques, qui à leur tour améliorent la qualité de l'air et la santé des individus. En parallèle, la réduction des temps de parcours offre aux usagers plus de temps pour effectuer d'autres activités, valorisant socialement ou économiquement leur temps, autrement perdu en congestion. La Figure 7 illustre ces liens entre la congestion et les aspects de la durabilité qui sont liés à la mobilité.

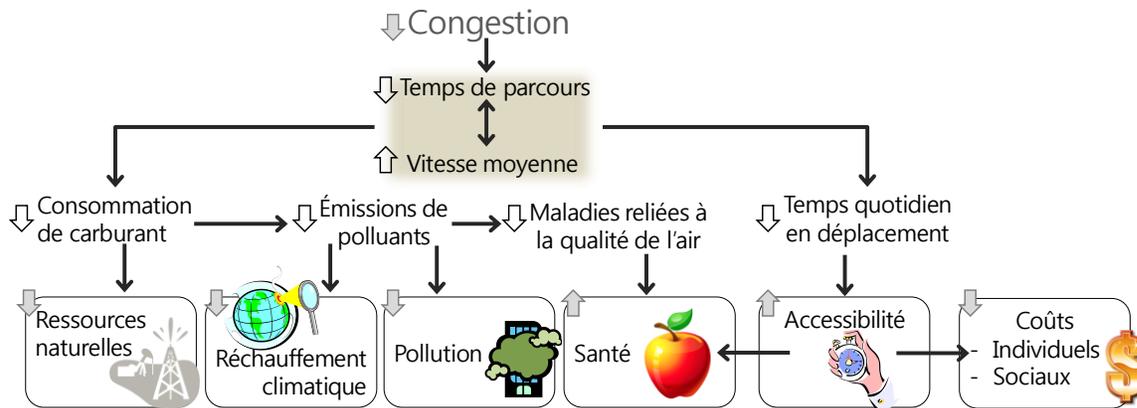


Figure 7. Liens entre la congestion et les aspects de la durabilité liés à la mobilité

La connaissance de l'évolution spatio-temporelle des conditions de circulation, et par le fait même de la congestion, permet d'assister les décideurs dans l'identification des mesures à implanter pour réduire les retards automobiles. Cependant, les mesures de vitesses, de délai et de temps de parcours sont difficiles et coûteuses à obtenir sur une large couverture spatiale et temporelle du réseau routier. À Montréal, une nouvelle opportunité de collecte de données sur les conditions de circulation émerge. En effet, la compagnie d'autopartage Communauto inc. possède des véhicules équipés de GPS. Ces récepteurs collectent de l'information sur la vitesse, la position géoréférencée et la direction du véhicule lors de déplacements effectués par des membres du service.

3.1.2 Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est d'évaluer le potentiel d'un ensemble de données GPS (dans ce cas-ci issus de véhicules d'un service d'autopartage) pour développer un ou plusieurs indicateurs de congestion utiles aux décideurs montréalais. De plus, plusieurs autres sources de données GPS pourraient être exploitables tel que les flottes de taxi, de véhicules commerciaux et de téléphones mobiles. Il est aussi souhaité d'intégrer cet indicateur au projet de thèse sur les indicateurs de mobilité durable.

Plus précisément, cette étude explore différentes hypothèses entrant dans le calcul d'un indicateur de congestion, et ce à partir de la base de données de points GPS. Les différentes hypothèses testées concernent l'agrégation et les limites spatiales et temporelles, la méthode de sélection des entités spatiales entrant dans le calcul et la formule d'estimation. Aussi, ces indicateurs seront analysés afin de démontrer leur potentiel à représenter la variabilité temporelle et spatiale du niveau de congestion, ainsi qu'à répondre aux différents besoins des décideurs montréalais.

Ce chapitre rappelle brièvement le contexte relatif à la congestion et à son estimation, décrit la méthodologie de ce projet et résume les résultats obtenus et les expérimentations en cours.

3.1.3 Mise en contexte et revue de littérature

Congestion à Montréal et besoins des décideurs

Les autorités de transport québécoises notent des problèmes de congestion à Montréal. Dans son plan de transport, la Ville de Montréal (2005) souligne que les réseaux autoroutier et artériel souffrent respectivement de congestion récurrente et d'encombrement sérieux. D'ailleurs, le Ministère des transports du Québec (2000) note dans son plan de gestion des déplacements que la



circulation pour entrer et sortir de l'Île de Montréal demeure un problème durant les heures de pointe.

De surcroît, les objectifs formulés par les principales autorités organisatrices du transport à Montréal témoignent de problèmes grandissant de congestion. Dans son Plan métropolitain d'aménagement et de développement, la Communauté métropolitaine de Montréal (2011) possède également un critère visant la « réduction des délais et des retards occasionnés par la congestion. » Un dernier exemple est la volonté du Ministère des transports du Québec (2000) de réduire le nombre de points de congestion et d'augmenter la vitesse sur les routes congestionnées.

À cause de ses nombreux effets néfastes sur l'environnement, l'économie et la société, la congestion devient un problème de plus en plus préoccupant dans un contexte de mise en œuvre du développement durable. Transport Canada (Delcan, iTRANS et Conseillers ADEC, 2006) affirme que la congestion est souvent mentionnée comme un défi urbain majeur et grandissant pour l'environnement et l'économie.

L'étendue, la durée et l'intensité de la congestion, ainsi que les processus qui l'engendrent et ses conséquences sont des préoccupations majeures en politique urbaine et en planification des transports (Taylor, Woolley et Zito, 2000). Les informations sur la congestion et les conditions de circulation répondent à divers besoins. D'abord, de l'information à jour sur la congestion aide à évaluer la performance routière (Tong, Merry et Coifman, 2006). Ensuite, une haute résolution des données fournit la possibilité d'identifier les routes les plus affectées par la congestion (Boarnet, Kim et Parkany, 1998).

Actuellement, les décideurs politiques doivent d'ailleurs choisir des stratégies à implanter, telles que l'ajout de lignes rapides pour bus, l'augmentation de capacité routière ou l'instauration de services d'information en temps réel (Boarnet et al., 1998). Pourtant, il existe peu d'indicateurs standards pouvant servir d'aide à la décision, et les preneurs de décision disposent de peu ou pas de moyens pour comparer l'évolution des niveaux de congestion (Boarnet et al., 1998). Bertini (2006) affirme que les mesures conventionnelles limitées et agrégées pour évaluer la performance du système routier ne sont plus utiles, du fait que les problèmes de congestion sont de plus en plus préoccupants et qu'il y a maintenant la possibilité de collecter des données plus nombreuses et plus robustes.

Définitions de la congestion

Plusieurs acteurs notent l'absence d'une définition unique pour la congestion (Communauté métropolitaine de Montréal, 2011; Delcan et al., 2006). Les définitions proposées sont parfois vagues, notamment celle du Federal highway administration (Cambridge Systematics Inc. et Texas Transportation Institute, 2005), qui définit la congestion comme « un excès de véhicules sur une portion de route à un moment défini, résultant en des vitesses plus faibles [...] que la normale ou que la vitesse à écoulement libre. » D'autres définitions sont très précises, comme celle du Département de transport du Minnesota (Regional Transportation Management Center, 2010) selon qui la congestion correspond à une « circulation à des vitesses plus petites ou égales à 45 miles par heure » (72km/h).

En fait, plusieurs chercheurs et praticiens sont d'avis que l'identification de la congestion est une question de perception. En effet, déclarer un état de circulation comme « acceptable » dépend des attentes des usagers de la route, qui varient selon chaque individu, le temps et l'endroit (Delcan et al., 2006; Federal highway administration, 2012). Lomax, Turner et Shunk (1997) indiquent que



« les automobilistes identifient habituellement une situation comme de la congestion quand la vitesse est réduite à environ 60% à 70% de la vitesse à écoulement libre. » Il est aussi possible de fixer un seuil spécifique auquel se fier pour affirmer qu'une route est congestionnée (Taylor et al., 2000), mais ce seuil demeure un choix subjectif.

Un autre point d'importance qui a trait à la congestion est sa variabilité dans le temps et dans l'espace. En fait, la congestion est sujette aux variations de demande et de capacité (Bertini, 2006). Le niveau de performance du système varie selon le type d'infrastructure de transport, l'heure de la journée, le lieu (Lomax et al., 1997) et les préférences des usagers (Conseillers ADEC inc., 2009).

Mesures conventionnelles de la congestion

Les principales mesures de performance du réseau routier sont notamment la vitesse moyenne de déplacement, le temps de trajet moyen, la proportion des déplacements ayant une vitesse moyenne sous un seuil critique (Ministère des transports du Québec, 2000), le délai annuel par passager, l'indicateur de temps de trajet, le délai de déplacement, la consommation excédentaire de carburant et les coûts de congestion (Bertini, 2006). Issue d'une revue de la littérature, la liste suivante constitue un survol des indicateurs développés pour évaluer le niveau de congestion.

A- Rapport entre le volume et la capacité:

- Le ratio entre le volume et la capacité (V/C) ;
- L'adéquation de capacité (Capacity adequacy) est égale à 100 multiplié par le ratio entre la capacité estimée et le volume durant l'heure de design ;
- L'indicateur de congestion routière (Roadway Congestion Index) est une comparaison entre la distance parcourue par les véhicules (véhicules-km) et la longueur des routes (autoroute et artères) disponibles (voies-km) ;

B - Vitesse :

- La vitesse moyenne est la vitesse moyenne de déplacement en période de pointe;

C - Temps de parcours :

- Le temps de parcours moyen est la moyenne des temps de trajet pour motif travail;
- Le retard correspond au temps de parcours supplémentaire dû à la congestion, et ce par rapport au temps à écoulement libre;
- L'indicateur de taux de parcours (Travel Rate Index) est le ratio entre le temps de déplacement sous congestion (congestion récurrente) et le temps de déplacement en écoulement libre;
- L'indicateur de temps de parcours (Travel Time Index) est le rapport du temps requis pour faire un trajet en congestion par le temps mis en circulation libre, pour la congestion récurrente et incidente;
- L'indicateur de temps supplémentaire sécuritaire (Buffer Index) est le pourcentage de temps qu'il faut prendre en supplément pour être à l'heure dans 95 % des cas en moyenne;
- L'indicateur de temps de parcours planifié (Planning Time Index) est le temps en circulation libre additionné de l'indicateur temps supplémentaire sécuritaire;
- L'indicateur de fiabilité des temps de parcours (Travel time reliability) est le 90^e ou le 95^e centile du temps de temps supplémentaire sécuritaire;

- L'indicateur de charge de congestion (Congestion Burden Index) est l'indicateur du taux de parcours multiplié par la proportion des voyageurs automobile sujets à la congestion en direction du travail.

Selon Boarnet et al. (1998), les principaux défis dans l'élaboration d'un indicateur de congestion concernent d'abord la méthodologie d'estimation : l'indicateur doit être basé sur des données largement disponibles et doit refléter l'ensemble de la performance des autoroutes. Des considérations touchant l'analyse sont aussi primordiales : l'indicateur doit être interprété avec précaution par les analystes et une attention particulière doit être portée sur la signification de variations de l'indicateur. En effet, de faibles variations de l'indicateur peuvent ou ne peuvent vouloir dire quelque chose.

3.1.4 Méthodologie

Système d'information

Une méthode traditionnelle de collecte de données sur la vitesse est l'utilisation de boucles de détection. Cependant, ces détecteurs coûtent cher, sont localisés en des endroits bien précis et manquent de couverture spatiale (Tong et al., 2006). De plus, le principal reproche formulé à leur égard est leur vulnérabilité (défectuosités) et leur manque de précision dans des conditions de congestion élevée. Une autre méthode de collecte de données, utilisée par le Ministère des transports du Québec, est celles des véhicules flottants qui parcourent le réseau autoroutier expressément pour collecter les vitesses et les temps de parcours sur des routes particulières. Cela suppose une grande organisation et des coûts importants, étant donné que des véhicules et des conducteurs doivent sillonner le réseau routier de façon coordonnée pour récolter le plus de données possibles. Des travaux portant sur l'étude des temps de parcours à partir d'échantillons tirés de véhicules flottants sont résumés dans Loustau (2009; Loustau et al., 2010). Des analyses à partir d'autres méthodes de collecte de données ont récemment été réalisées, notamment sur les capteurs Bluetooth et les vitesses extraites de bandes vidéo (Saunier et Morency, 2011).

Retenue pour la présente étude, une autre technologie de collecte de données sur les vitesses et les temps de parcours est celle des GPS installés dans des véhicules circulant sur le réseau routier. À Montréal, l'entreprise d'autopartage de véhicules Communauto inc. a équipé une partie de sa flotte avec des GPS, ce qui procure une base de données de points GPS répartis sur tout le réseau routier montréalais. Jusqu'à maintenant, les travaux effectués à partir de ces bases de données portent sur la comparaison avec les résultats obtenus à partir des véhicules flottants du Ministère des transports du Québec (Loustau et al., 2010). À partir de ces mêmes données, une autre étude propose différentes analyses des vitesses observées en différents lieux et selon différentes conditions (période, journée, saison, etc.) (Verreault, Morency et Saunier, 2011).

En 2010, environ 400 des 1 500 véhicules à la disposition des membres étaient équipés de GPS. La base de données utilisée pour cette étude comprend les points recueillis entre janvier et fin novembre 2010. Un signal est émis à un intervalle de deux à cinq minutes lorsque le véhicule est emprunté par un membre du service d'autopartage. Parmi les avantages du GPS figurent un faible coût d'installation et de récupération des données, et une exactitude élevée du lieu de collecte (Tong et al., 2006). Certes, afin d'augmenter la taille de l'échantillon, il ne fait aucun doute que l'intervalle de collecte pourrait être réduit et le nombre de véhicules équipés d'un GPS pourrait être augmenté à la totalité de la flotte si l'utilité de ces données GPS était démontrée.

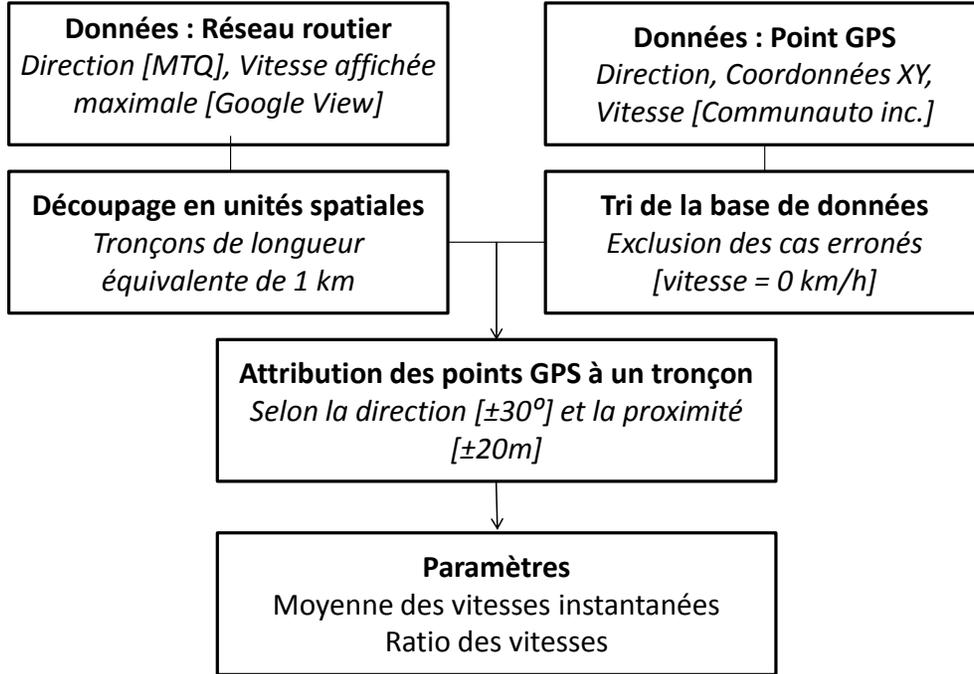


Il est à noter que les plages temporelle et spatiale couvertes par ces données GPS demeurent sujettes à l'usage que les membres font des véhicules partagés. L'itinéraire choisi, la journée et l'heure de déplacements dépendent des besoins des membres du service d'autopartage. Or, en général, ces membres utilisent les véhicules pour des déplacements occasionnels, c'est-à-dire pour leurs activités de loisirs ou de magasinage. Leurs déplacements pendulaires et habituels sont en grande partie effectués en transport collectif ou actif (Sioui, Morency et Trépanier, 2012). Dans la base de données GPS, il en résulte un nombre d'observations non uniforme dans le temps et dans l'espace (Verreault et al., 2011). Par exemple, le nombre d'observations est plus élevé les jours de fin de semaine, alors que les activités de loisir et de magasinage sont plus fréquentes. L'échantillon est aussi plus petit en période de pointe du matin car les membres de communauto font typiquement peu de déplacements pendant les heures de pointes, ce service étant souvent utilisé en complémentarité des autres modes alternatives à l'automobile.

Démarche générale

La méthodologie générale se découpe en trois grands volets, qui sont la préparation des bases de données, les choix d'hypothèses de calcul de l'indicateur et l'analyse de l'indicateur. La Figure 8 illustre ces trois volets, traités dans les trois paragraphes suivants. Le premier volet porte sur les traitements préalables à apporter à la base de données afin qu'elle soit exploitable pour le calcul des indicateurs. Puis, plusieurs éléments influençant l'indicateur estimé sont à déterminer; ils découlent de la qualité de l'échantillon ainsi que de l'usage projeté de l'indicateur de congestion. Ces choix constituent des hypothèses de calcul de l'indicateur : la sélection de la portion du réseau routier (catégories physique et fonctionnelle), le niveau d'agrégation et les limites spatiales et temporelles, la sélection des unités spatiales entrant dans le calcul de l'indicateur et la formule utilisée pour ce calcul.

Traitement et préparation des bases de données



Éléments à déterminer		Exemples de choix pour ces éléments			
Portion du réseau routier	Catégorie physique	Autoroute	Pont	Artère principale	
	Catégorie fonctionnelle	Principal	Primaire	De desserte	
Niveau d'agrégation	Spatial	Tronçon de 1 km	Segment autoroutier	Autoroute	Système autoroutier
	Temporel	Heure	Période horaire	Type de jour	Mois
Limites	Spatiales	Quartier	Municipalité	Île de Montréal	Région métropolitaine
	Temporelles	An	Période horaire	Type de jour	Mois
Méthodes de calcul de l'indice	Unités spatiales entrant dans le calcul	Tous	Conditions de circulation critiques		
	Formule	Moyenne	Pourcentage p/r à un seuil fixe	Pourcentage p/r à un seuil variable	Centile

Analyse de l'indice

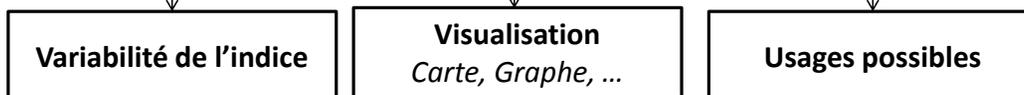


Figure 8. Méthodologie générale de l'étude



Traitement préalable et hypothèses générales de l'étude

Le premier volet méthodologique concerne la préparation des deux bases de données utilisées dans cette étude. Ces traitements préalables sont aussi effectués en parallèle avec la formulation de certaines hypothèses générales de base qui sont imposées par les caractéristiques de l'échantillon.

La principale base de données est celle des observations GPS issues des véhicules du service d'autopartage Communauto. Les données collectées par les GPS sont la position référencée géographiquement et temporellement, la vitesse instantanée et la direction du véhicule. La base de données initiale comporte certaines observations possiblement erronées se repérant par des vitesses égales à zéro qui se répètent sur une longue durée. Pour l'instant, il a donc été décidé d'exclure toutes les vitesses nulles de l'étude, car il est difficile de distinguer les réelles vitesses nulles de celles issues d'une erreur de données. Des procédures sont développées afin de faciliter le traitement systématique des données et assurer une meilleure cohérence et qualité des données pour fins d'estimation d'indicateurs.

Les observations, géoréférencées, doivent être distribuées sur le réseau routier. Le réseau autoroutier typiquement échantillonné par le Ministère des transports du Québec a été systématiquement segmenté en tronçons d'un kilomètre afin de faciliter l'analyse des temps de parcours et la comparaison entre différents types de tronçons. Une zone tampon de 20 m de part et d'autre du centre de la route est considérée pour tenir compte de la possibilité d'existence de plusieurs voies de circulation. Les autoroutes étant bidirectionnelles, c'est la direction par rapport à l'azimut fournie par le GPS qui permet d'attribuer une observation à un tronçon routier (avec une tolérance de plus ou moins 30 degrés).

Puisque la distribution des points GPS dépend directement des déplacements faits par les membres et que ceux-ci sont plus concentrés sur l'Île de Montréal, il a été choisi de se concentrer sur ce territoire dans le cadre de cette étude. Le territoire pourra être élargi avec la disponibilité d'autres données. Cette étude s'appuie donc sur les 185 000 et 105 000 points GPS respectivement recueillis en semaine et en fin de semaine, points sur l'Île de Montréal et attribués à un des 231 tronçons autoroutiers de 1km.

Les vitesses maximales associées à chacun des tronçons correspondent aux vitesses affichées sur l'autoroute et ont été déterminées à l'aide de l'outil Google Street View de Google Maps. Étant donné que la vitesse maximale affichée varie entre 70 km/h et 100 km/h sur le réseau autoroutier montréalais, garder la vitesse brute comme unité d'analyse empêche de faire ressortir les tronçons avec des conditions de circulation anormalement basses. Il a donc été décidé de calculer pour chaque tronçon autoroutier le ratio entre la moyenne des vitesses observées et la vitesse maximale affichée, nommé dorénavant le **ratio de vitesses** (1).

$$\text{Ratio des vitesses} = \frac{\text{Moyenne des vitesses observées}}{\text{Vitesse maximale affichée}} \quad (1)$$

Le ratio des vitesses proposé permet de comparer la vitesse moyenne observée avec la vitesse maximale affichée, que l'on peut supposer correspondre grosso modo à la vitesse à écoulement libre.

Démarche de développement d'indicateurs de congestion

Quelques cas de base ont été choisis pour débiter cette étude (Tableau 2). Les hypothèses ont été déterminées d'après les caractéristiques de l'échantillon pour des raisons expliquées précédemment. Plus précisément, ce sont la portion du réseau routier (réseau autoroutier, réseau principal), le niveau d'agrégation spatial (tronçons de 1 km) et les limites spatiales (Île de Montréal). Les hypothèses qui différencient les cinq cas de base portent sur le niveau d'agrégation et les limites temporels, les unités spatiales entrant dans le calcul et la formule d'estimation de l'indicateur.

Les trois premiers cas ont un niveau d'agrégation différent, soit respectivement une agrégation par type de jour (semaine et fin de semaine), par période horaire (pointes AM et PM, hors-pointe jour et nuit) et par mois. Pour chacun de ces trois cas, des essais identiques ont été réalisés quant à l'estimation d'un indicateur : (i) en sélectionnant tous les tronçons et (ii) en sélectionnant les tronçons ayant les pires conditions de circulation, nommés les « pires tronçons ». La méthode de sélection incluant tous les tronçons, (i), est couplée à trois formulations : (a) la moyenne des ratios des vitesses, (b) différents centiles et (c) le pourcentage de tronçons sous un seuil fixe. Toujours appliquée à chacun des trois premiers cas d'expérimentations, la seconde méthode de sélection incluant seulement les « pires tronçons », (ii), utilise comme formule la moyenne des ratios des vitesses (a). De façon détaillée, les différentes formulations sont les suivantes :

a) **Moyenne** : Moyenne algébrique des ratios de vitesses de tous les tronçons (i) ou de ceux ayant les plus mauvaises ratios des vitesses (ii). Le nombre de tronçons sélectionnés pour la moyenne des « pires tronçons » (ii) varie afin de tester plusieurs possibilités : les 10, 15, 20, 25, 30 et les 10 %, 15 %, 20 %, 25 % et 30 % tronçons ayant les plus mauvais ratios des vitesses ont été retenus pour calculer la moyenne ;

b) **Centile** : Valeur du ratio du N-ième centile pour la distribution des tronçons (10e, 20e, 30e, 40e, 50e, 60e, 70e, 80e et 90e centiles) ;

c) **Seuil** : Proportion des tronçons dont le ratio est inférieur à un seuil déterminé (seuils de 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 et 1.0).

Pour chacune de ces formulations, la variabilité de l'indicateur sera analysée, et ce notamment en regard de résultats de tests de différence réalisés entre les distributions des différents groupes.

Tableau 2. Sélection préliminaire de cinq cas de base

Choix des éléments et analyses		Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Portion du réseau routier	Catégorie physique	Autoroutes				
	Catégorie fonctionnelle	Principal				
Niveau d'agrégation	Spatial	Tronçon de 1 km				
	Temporel	Type de jour	Période horaire	Mois	Mois et Période horaire	Heure
Limites	Spatiales	Île de Montréal				
	Temporelles	An	An et Jour de semaine	An, Jour de semaine et PM	An, Jour de semaine	An, Jour de semaine
Méthode de calcul de l'indicateur	Unités spatiales entrant dans le calcul	(i) Toutes (ii) Pires	(i) Toutes (ii) Pires	(i) Toutes (ii) Pires	(i) Toutes	(i) Toutes
	Formule	(a) Moyenne (b) Centile (c) % sous un seuil fixe	(a) Moyenne (b) Centile (c) % sous un seuil fixe	(a) Moyenne (b) Centile (c) % sous un seuil fixe	(d) % sous un seuil variant	-
Analyse de l'indicateur	Variabilité	Oui	Oui	Oui	Non	Non
	Visualisation				Graphe	Carte

En ce qui concerne l'analyse de variabilité des indicateurs étudiés, des tests statistiques préparatoires sont réalisés. L'objectif de ces tests statistiques est d'analyser si la distribution des ratios des vitesses pour les tronçons est significativement différente entre les périodes analysées (par exemple, jour de semaine VS jour de fin de semaine). Les échantillons comparés sont indépendants. Les étapes suivies sont :

- Le tracé des distributions de chaque période
- Le test de normalité des distributions : test de Shapiro-Wilk
- Les tests de différence choisis:
 - Hypothèse d'échantillons paramétriques ou non-paramétriques de grande taille : test t de Student
 - Hypothèse d'échantillons non-paramétriques : test de Kolmogorov-Smirnov, test de Kruskal-Wallis, test de Wilcoxon-Mann-Whitney

Les résultats de ces tests sur la distribution des ratios de vitesses sur les tronçons permettront de savoir si les différentes périodes analysées sont identiques ou significativement différentes. Cela servira par la suite de repère pour évaluer la sensibilité des indicateurs.

Les deux derniers cas de base, 4 et 5, sont analysés différemment des trois premiers. Le cas 4 ressemble au troisième, soit un niveau d'agrégation mensuel, mais toutes les périodes horaires sont testées et la formule d'estimation de l'indicateur diffère. En effet, le cas 4 a pour objectif de pallier aux désavantages du seuil fixe (formulation c) en estimant un indicateur se référant à un seuil variable, soit le ratio des vitesses moyen annuel associée à la période horaire analysée. De plus, l'indicateur proposé se décompose en trois volets (tronçons ayant de mauvaises, moyennes, bonnes

conditions de circulation) qui sont graphiquement présentés pour mieux cerner l'évolution des tendances.

Quant au cas 5, il propose une visualisation des variations horaires un jour moyen de semaine. D'autres cas, discutés à la fin du présent chapitre, sont en cours de développement.

3.1.5 Résultats préliminaires : Cas 1 à 3

Cas 1 : Les types de jour

En premier lieu, une comparaison des ratios entre les différents groupes est possible grâce au graphique de distribution des ratios des vitesses (Figure 9). À la fois pour les jours de semaine et de fin de semaine, tous les tronçons sont considérés, soit 231 tronçons de 1 km. En effet, ils ont plus de 10 observations durant leur période respective de janvier à novembre 2010.

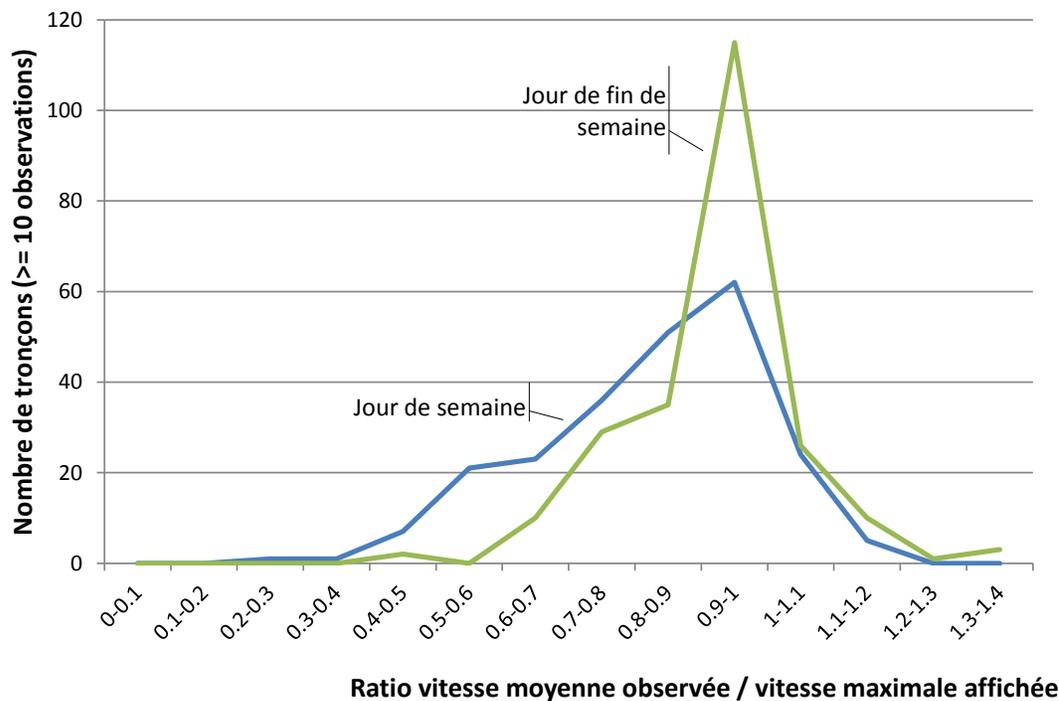


Figure 9. Distributions des ratios des vitesses pour les jours de semaine et de fin de semaine

Les ratios des vitesses les plus fréquents sont entre 0,9 et 1, soit très légèrement sous la vitesse maximale affichée. Les ratios faibles (<0,9) sont plus nombreux en semaine, alors qu'en fin de semaine les ratios sont concentrés à 48 % entre 0,9 et 1. Très peu de ratios des vitesses sont plus grands que 1, et leur nombre décroît très rapidement. Cela s'explique par le fait que des dépassements de vitesse maximale sont prohibés par la loi et passables d'une amende.

Les résultats des différents tests sont disponibles sur demande. Le test de Shapiro-Wilk ne permet pas de conclure que les distributions suivent une loi normale. Tous les tests de comparaison permettent de conclure que les jours de semaine sont différents des jours de fin de semaine. Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney confirme que les ratios des vitesses sont plus faibles durant la semaine par rapport à la fin de semaine. Ces révélations sont en phase avec la présomption que la congestion est plus importante la semaine, et nettement moins importante la fin de semaine.

Les cartes de la Figure 10 illustrent la valeur du ratio des vitesses pour chacun des tronçons. Bien que le ratio des vitesses soit estimé pour tous les tronçons sur l'Île de Montréal, il a été choisi de zoomer sur le centre de l'Île afin de faire ressortir les différences entre la semaine et la fin de semaine. En effet, on remarque que les tronçons sont moins verts, ce qui correspond à une moins bonne circulation. Cette tendance est moins évidente en s'éloignant du centre de l'Île de Montréal.

Les valeurs des indicateurs calculés pour chaque type de jour sont présentées à la Figure 11 (des détails peuvent être obtenus sur demande). Tous les indicateurs calculés varient dans le sens attendu, soit que les conditions de circulation sont meilleures la fin de semaine. L'amplitude est la différence maximale de valeur de l'indicateur entre les différents groupes analysés. Une valeur faible de l'amplitude est signe que l'indicateur varie peu entre les groupes. Idéalement, l'indicateur varie beaucoup et a donc une grande amplitude entre deux groupes statistiquement différents. À l'inverse, deux groupes statistiquement identiques ne devraient pas engendrer une variation importante de l'indicateur. Dans ce cas, les amplitudes entre semaine et fin de semaine pour les différents indicateurs varient entre 0,00 et 0,21.

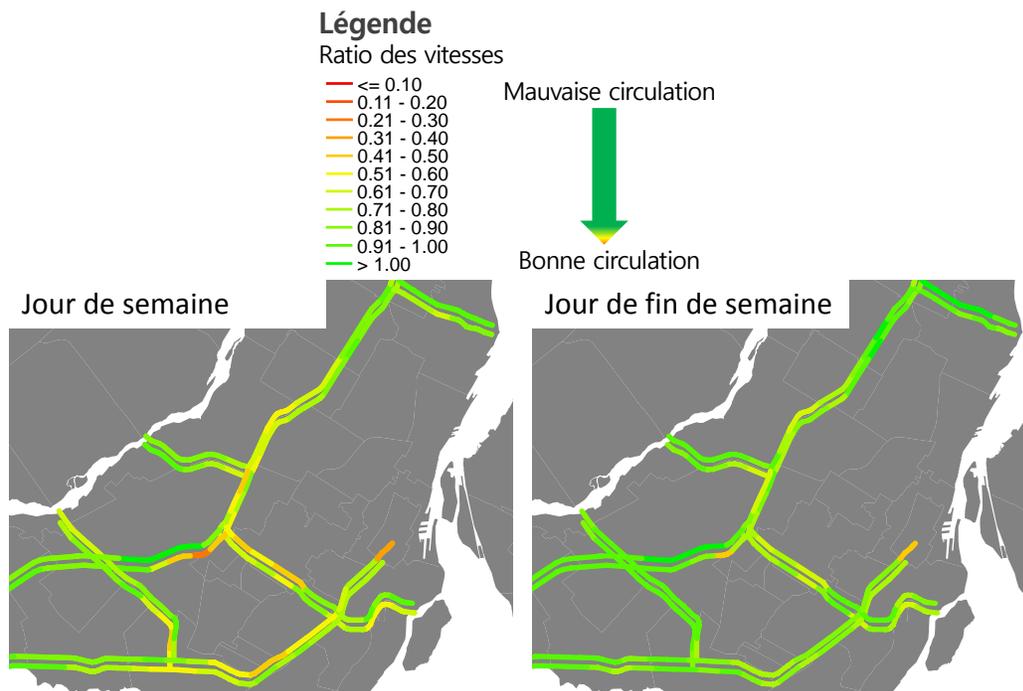


Figure 10. Spatialisation des ratios des vitesses par type de jour (partie centrale de Montréal)

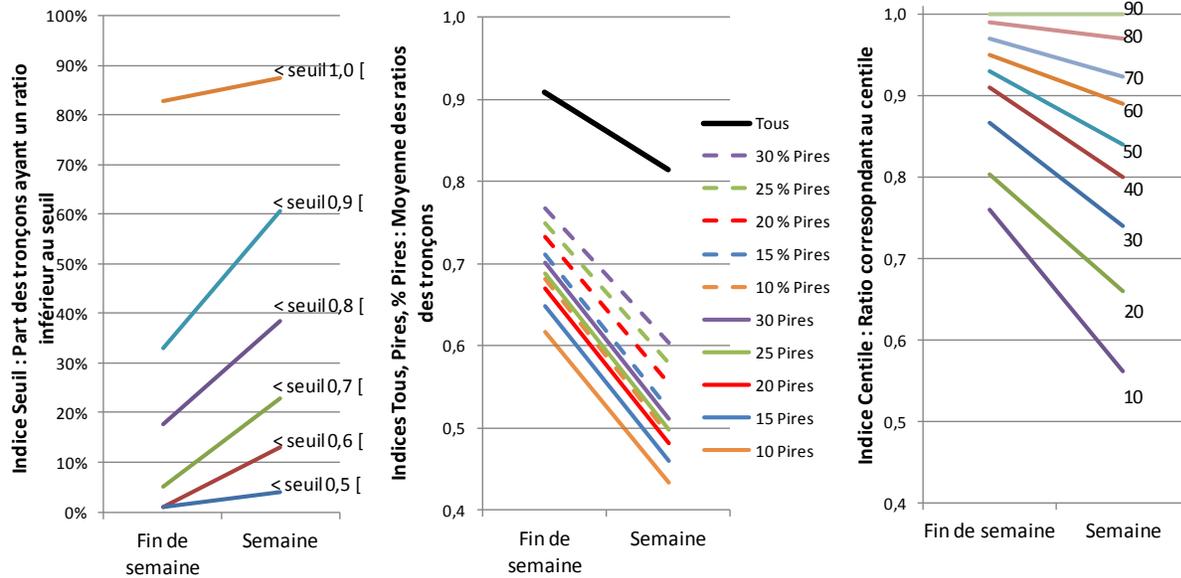


Figure 11. Indicateurs de congestion les jours de semaine et de fin de semaine

Les paragraphes suivants interprètent ces résultats plus en détail :

Moyenne globale : La moyenne globale des ratios des vitesses (droite « Tous ») est très légèrement inférieure à 1, avec seulement 0,1 d'amplitude entre les jours de semaine et ceux de fin de semaine. **Tel qu'attendu, la moyenne globale est très influencée par les valeurs les plus récurrentes parmi l'ensemble des tronçons, situées entre 0,9 et 1.**

Moyenne des tronçons ayant les pires conditions de circulation : Lorsque l'indicateur est une moyenne, mais calculée seulement à partir des tronçons ayant les pires conditions de circulation, sa valeur est très inférieure à la moyenne globale des ratios des vitesses (droite « Tous »). On constate que plus le nombre de tronçons pris en compte est élevé, plus l'indicateur « des pires » augmente. L'amplitude entre semaine et fin de semaine est grande (0,18 à 0,19) par rapport à l'indicateur « Tous » (0,10), et stable peu importe le nombre de pires tronçons retenus. **Les pires conditions de circulation de la fin de semaine sont meilleures que celle des jours de semaine. Avec cet indicateur, il n'est cependant pas possible d'identifier si les "pires tronçons" sont les mêmes pour les deux types de jour.**

Centile : La variation des centiles illustre la différence entre les distributions des groupes étudiés. Dans ce cas-ci, les différences (amplitudes) entre semaine et fin de semaine diminuent lorsque le centile augmente. **Cela montre que les distributions sont différentes pour les ratios des vitesses faibles, mais qu'elles se rattrapent lorsqu'on tend vers des valeurs élevées.**

Pourcentage des tronçons dont le ratio des vitesses est inférieur à un seuil : Concernant l'indicateur basé sur un seuil, plus la valeur du seuil de référence augmente, plus la valeur de l'indicateur augmente. Cela signifie qu'il y a de plus en plus de tronçons ayant un ratio inférieur à ce seuil. **Un seuil de référence trop élevé ou trop faible occasionne une amplitude faible** : dans ces deux cas extrêmes, les jours de semaine et de fin de semaine paraissent moins différents. L'indicateur le plus sensible et avec la plus grande amplitude a un seuil ratio de 0,9.

Cas 2 : Les périodes horaires (Pointe / Hors-Pointe)

Les périodes horaires choisies pour les jours de semaine sont la pointe du matin de [6 h à 9 h], le jour en hors-pointe de [9 h à 15 h], la pointe de l'après-midi de [15 h à 18 h] et la soirée et la nuit de [18 h à 6 h]. Ces périodes sont souvent utilisées pour faire des analyses de mobilité; une analyse des heures de début et de fin de période de pointe selon l'emplacement du tronçon serait appropriée. En tout, 188 tronçons possèdent au moins 10 observations pour chacune des périodes horaires.

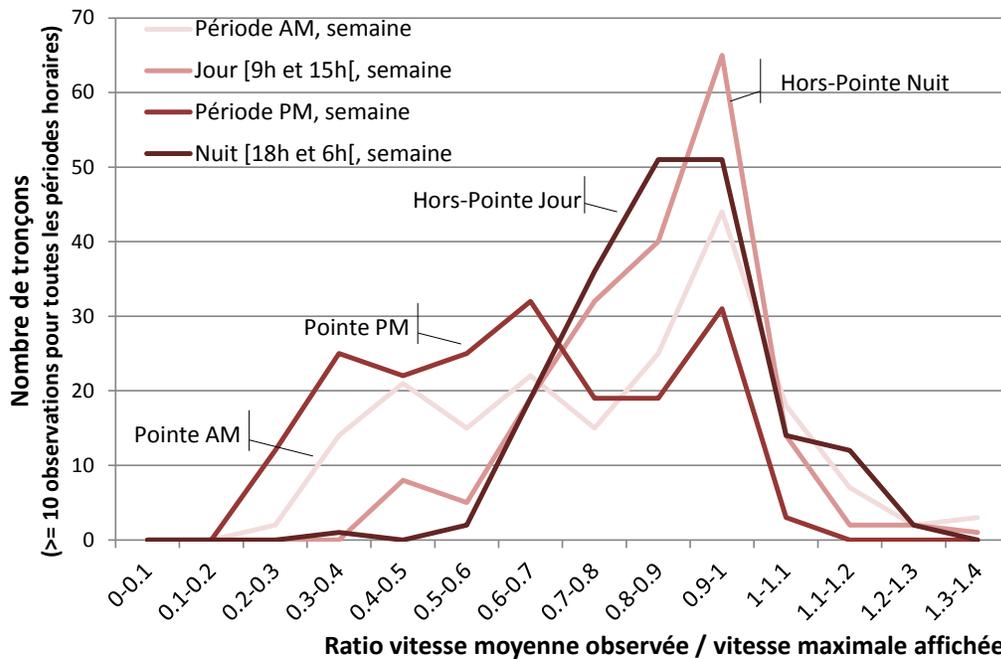


Figure 12. Distributions des ratios pour les différentes périodes horaires d'une journée moyenne de semaine

La distribution du nombre de tronçons selon le ratio des vitesses (Figure 12) montre :

- Le jour et la nuit se ressemblent, avec un pic pour les ratios compris entre 0,8 et 1. Ce pic est un peu moins prononcé le jour que le nuit, ce qui suppose une plus grande congestion le jour ;
- La période de pointe de l'après-midi (PM) a des ratios beaucoup plus étalés, ayant entre 19 et 32 tronçons pour chaque groupe de ratios entre 0,2 et 1,0. En outre, peu de ratios sont plus grands que 1.
- La période de pointe du matin (AM) a aussi des ratios faibles comme en PM, mais on observe un pic comme en hors-pointe autour de 1.

On peut donc supposer que la période de pointe de l'après-midi est la plus congestionnée, suivie de la pointe AM, et des périodes hors-pointe de jour puis de nuit.

Les quatre cartes de la Figure 13 illustrent les conditions de circulation pour chacune des périodes de pointe et hors-pointe pour une journée moyenne de semaine. La période hors-pointe de nuit montre des ratios de vitesses élevés sur toute l'Île. En période hors-pointe de jour, les ratios de vitesse plus faibles sont concentrés autour de l'échangeur des autoroutes 40 et 15. En périodes de pointe, cet échangeur est aussi un des points les plus critiques du réseau, avec le segment de l'autoroute 20 entre la 13 et la 15. De plus, les tronçons vers le centre-ville en pointe AM et ceux

vers les banlieues en pointe PM apparaissent plus orangés, ce qui témoigne des déplacements pendulaires de semaine.

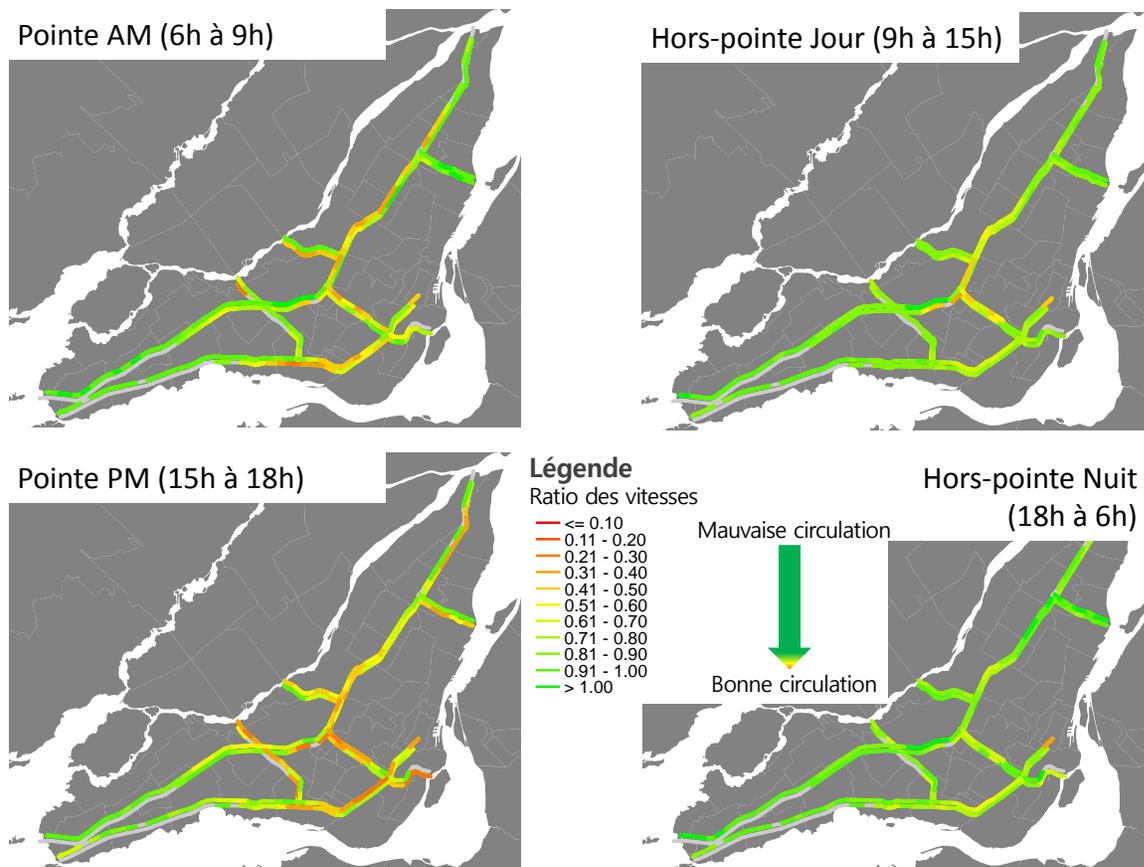


Figure 13. Spatialisation des ratios des vitesses par période horaire pour un jour moyen de semaine

Les résultats du test de normalité de Shapiro-Wilk montrent que seule la période de pointe de l'après-midi (PM) est une distribution normale (démonstration disponible sur demande). Les tests statistiques de comparaison ont été faits par rapport à la période hors-pointe de nuit, qui semble avoir les meilleures conditions de circulation. Tel qu'attendu suite au tracé des distributions, ces tests révèlent que les périodes de pointe sont différentes de la période de nuit, alors que la période hors-pointe de jour n'est pas statistiquement différente de celle de nuit.

Les valeurs exactes des indicateurs calculés sont disponibles sur demande mais sont présentées sous forme de graphiques à la Figure 14. La Figure 15 illustre la proportion de variation des indicateurs estimés pour les différentes périodes horaires par rapport à celle hors-pointe de nuit. Une valeur négative de la proportion indique une détérioration de la circulation, ce qui équivaut à une plus forte congestion. Plus la valeur de l'indicateur (dont celle de référence, la nuit) est grande, moins une grande variation de l'indicateur signifie un changement significatif des conditions de circulation.

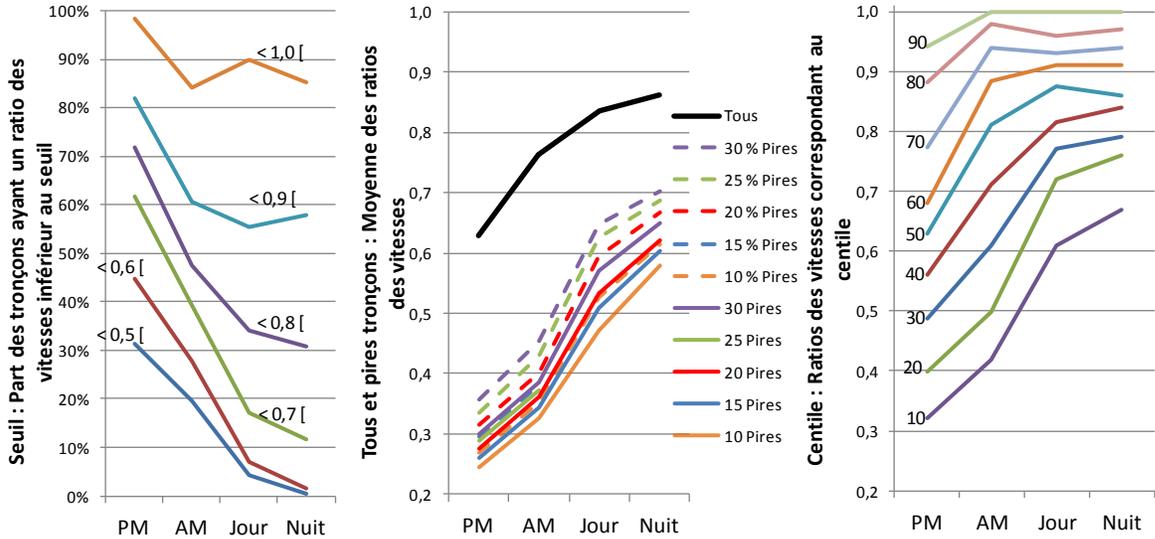


Figure 14. Indicateurs de congestion des périodes horaires pour un jour moyen de semaine

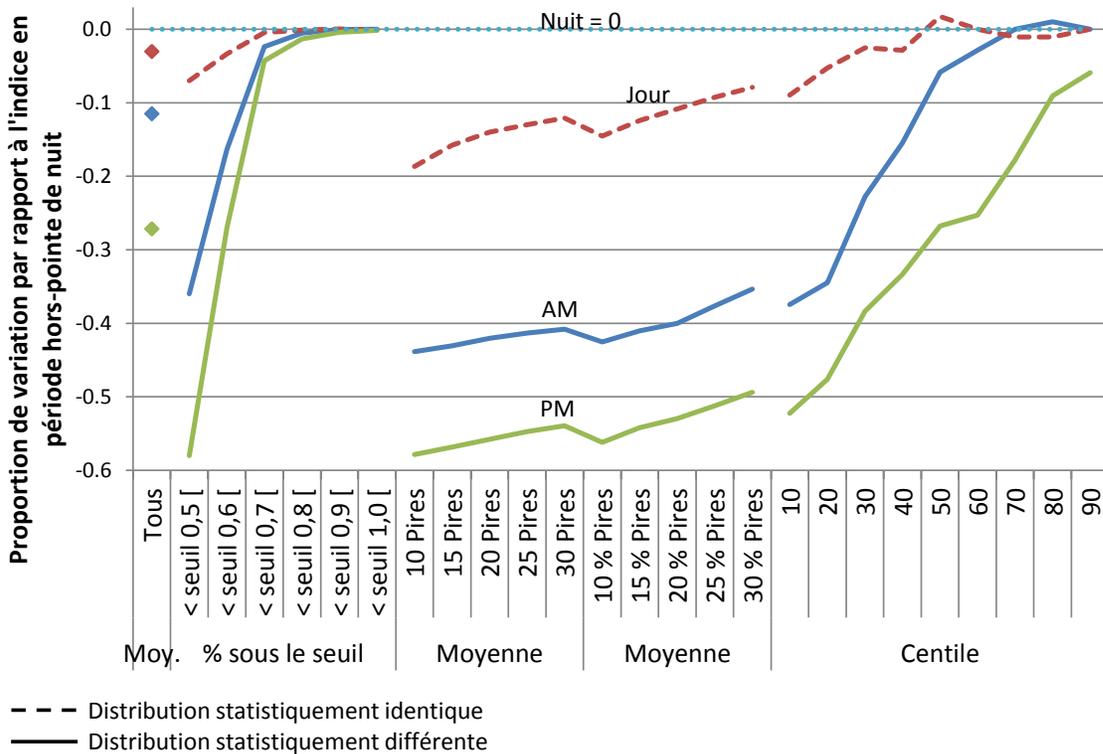


Figure 15. Proportion de variation des indicateurs des groupes horaires par rapport aux indicateurs de la période hors-pointe de nuit pour un jour moyen de semaine

Moyenne globale : La variabilité de cet indicateur est amortie par les tronçons ayant toujours de bonnes conditions de circulation. Une proportion de variation plus grande qu'une valeur entre 0,03 et 0,11 semble être significative.

Moyenne des tronçons ayant les pires conditions de circulation : Par rapport l'analyse par type de jour, les valeurs des indicateurs « N pires » sont plus semblables à ceux « N% pires ». Cela s'explique par le fait qu'il y a moins de tronçons au total pour chaque échantillon (231 par type de

jour, 188 par période horaire). **En effet, plus le nombre de tronçons dans l'échantillon tend vers 100, plus les indicateurs « N pires » et « N% pires » seront similaires.** Par exemple, les 10% pires tronçons sur un total de 100 revient à considérer les 10 pires tronçons. **Plus l'échantillon sera grand, plus l'indicateur « N% pires » aura des valeurs supérieures à celui « N pires », et inversement.**

Centile : **Isolés, les centiles élevés ne représentent pas la variation entre les groupes analysés.** Par exemple, les centiles 70, 80 et 90 affichent des proportions de variations semblables pour la période de point AM et hors-pointe de jour. Ceci est incohérent, car le premier est statistiquement différent de la nuit mais pas le second.

Pourcentage des tronçons dont le ratio des vitesses est inférieur à un seuil : Le seuil auquel on observe la plus grande amplitude de l'indicateur est de 0,7. Ce dernier est différent de celui selon le type de jour, observé à 0,9. **En fait, il semble que le seuil qui occasionne la plus grande amplitude dépend des distributions des groupes étudiés.** Par exemple, si ce qui différencie principalement deux groupes sont le nombre de ratios des vitesses observés entre 0,9 et 1 (comme l'analyse par type de jour), alors le seuil qui occasionne la plus grande amplitude est de 0,9. Pour les périodes horaires, la majorité des données en PM se retrouvent sous le seuil de 0,7, alors que cette majorité se retrouve la nuit entre 0,7 et 1,1.

Cas 3 : Les mois de l'année

Dans cette section, les mêmes tests et calculs seront appliqués, mais cette pour capter la variabilité mensuelle de la congestion en période de pointe de l'après-midi (PM) lors des jours de semaine de janvier à novembre 2010. Un minimum de dix observations a été choisi comme condition pour inclure un tronçon dans le calcul d'un indicateur. En tout, ce sont 75 tronçons qui ont au moins dix observations chaque mois et qui ont été gardés pour la suite de l'analyse mensuelle.

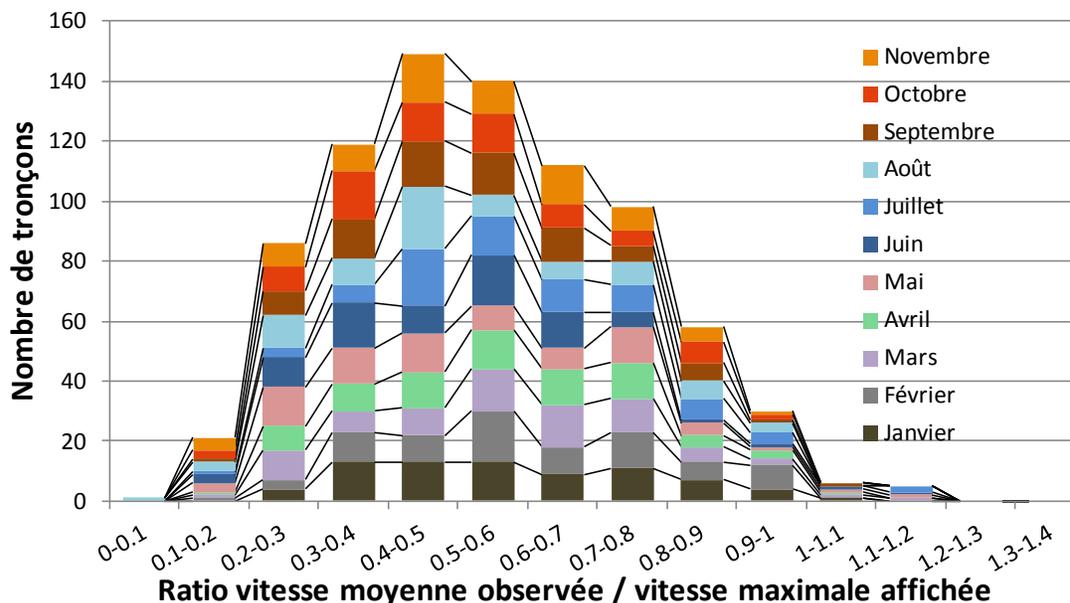


Figure 16. Distributions des ratios des vitesses pour la pointe PM des mois de janvier à novembre de l'année 2010

La distribution tracée à la Figure 16 montre une grande proportion de ratios des vitesses faibles, ainsi que peu de valeurs supérieures à 0,9. Juillet semble ressortir du lot avec peu de ratios inférieurs à 0,4, un pic entre 0,4 et 0,5, et une faible pente descendante vers les ratios plus élevés.

Janvier semble le plus constant, avec un nombre similaire de ratios entre 0,3 et 0,8. Mai, juin et août ont beaucoup de tronçons avec des valeurs entre 0,2 et 0,4. Une légère diminution de la circulation automobile pendant la période hivernale est un phénomène typiquement observé dans la région alors que certains voyageurs se tournent notamment vers les transports collectifs en raison des aléas climatiques.

Le test de normalité Shapiro-Wilk montre que la plupart des distributions sont normales, excepté pour mai et juin. Concernant les tests statistiques de comparaison, l'élément de comparaison n'est pas évident dans ce cas. Il a été choisi de mener trois comparaisons différentes, soit le mois à l'étude par rapport (1) au mois précédent, (2) à la moyenne annuelle et (3) au mois de janvier. Les tableaux de résultats peuvent être obtenus sur demande.

Selon les tests de comparaison des distributions par rapport à celle de janvier, les mois de mai, de juin, d'août et d'octobre sont significativement différents et inférieurs à janvier, qui est un mois peu congestionné. Ces mois auraient donc les moins bonnes conditions de circulation. Juillet n'a pas la même tendance, ce qui laisse figurer de meilleures conditions de circulation. Ceci apparaît d'ailleurs clairement dans les tests par rapport au mois précédent : juillet est significativement différent et plus grand que juin et août. Finalement, par rapport à la moyenne annuelle, aucun mois ne ressort sauf février, qui y est significativement supérieur.

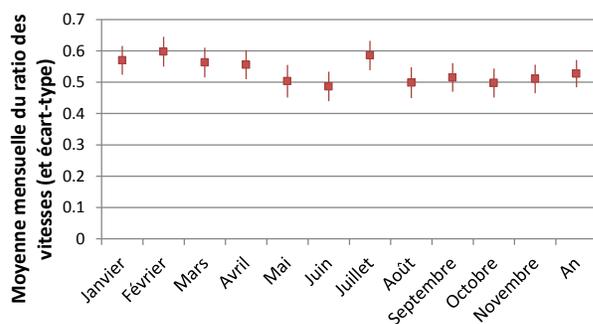


Figure 17. Moyenne des ratios des vitesses et intervalle de confiance à 95%

La Figure 17 illustre l'indicateur de la moyenne globale et l'intervalle de confiance à 95 % pour chacun des mois. Il apparaît clairement que la congestion est moins forte durant les mois d'hiver et au début du printemps. Les mois d'été sont les pires avec ceux d'automne, excepté juillet qui sort du lot avec une moyenne très semblable au meilleur mois d'hiver. Il est difficile de se prononcer sur la validité de ces résultats.

Pour un aperçu des tendances mensuelles pour les autres périodes horaires d'un jour moyen de semaine, référez-vous au cas 4 présenté dans une section subséquente.

À cause de la reprise de l'année scolaire, il était attendu que le mois de septembre soit particulièrement plus congestionné. Pourtant, septembre ne se démarque pas, ce qui pourrait s'expliquer par les différents travaux de construction sur les tronçons routiers qui peuvent ralentir la circulation durant les autres mois. L'amélioration de la circulation au mois de juillet serait elle aussi liée à la construction, car il s'agit du mois durant lequel les chantiers de construction sont arrêtés durant deux semaines en raison des « vacances de la construction ». On aurait pu s'attendre à une plus grande congestion durant l'hiver, notamment à cause des mauvaises conditions climatiques : gel, verglas, neige. Il pourrait y avoir deux raisons principales pourquoi ces intempéries ne se répercutent pas sur les distributions. D'abord, ces tempêtes sont très ponctuelles et pourraient être trop peu nombreuses pour influencer la moyenne. Ensuite, on peut aussi supposer que les véhicules d'autopartage sont peu utilisés durant ces jours de tempête par les usagers, qui reportent leurs activités à une autre journée. Cela provoquerait un sous-échantillonnage des vitesses lors des journées de tempête.



Les estimations des indicateurs sont présentées graphiquement à la Figure 18 ci-après. La Figure 19 illustre la proportion de variation des différents indicateurs par rapport à la valeur de la moyenne annuelle.

Moyenne globale : Les mois de janvier à avril ont les moyennes les plus hautes. Les moyennes de mai à novembre sont stabilisées autour d'un ratio des vitesses de 0,5, excepté pour juillet qui se démarque en ayant un indicateur comparable à celui des mois d'hiver. L'amplitude de 0,11 n'est pas très grande, ce qui témoigne d'une faible variabilité de l'indicateur. Pour les mois statistiquement différents de la moyenne annuelle, soient février et août, leur indicateur se différencie peu de celui des autres mois.

Moyenne des tronçons ayant les pires conditions de circulation : Ces indicateurs suivent les mêmes tendances que celle de la moyenne globale ci-haut présentée. Étant donné qu'il y a moins de 100 tronçons analysés, le nombre de tronçons retenu pour l'indicateur basé sur les 10 % tronçons aux plus mauvaises conditions de circulation est moindre que le nombre retenu pour l'indicateur basé sur les 10 tronçons aux plus mauvaises conditions de circulation. L'indicateur « N % pires » est donc légèrement inférieur au « N pires ». D'après la Figure 19, les mois statistiquement différents (février, août) ont une part de variation de l'indicateur d'au moins 0,1 en valeur absolue par rapport à la valeur moyenne annuelle. Pourtant, d'autres mois, tels juillet et mai, ont une part de variation aussi sinon plus grande sans toutefois être statistiquement différents. **L'indicateur a donc possiblement tendance à être trop sensible, c'est-à-dire à varier beaucoup alors que les distributions ne sont pas différentes.**

Centile : La courbe des 90e centiles permet d'observer que le mois de février se démarque par un plus grand nombre de ratios des vitesses proches de 1,0. Le mois de juin semble posséder moins de tronçons ayant des valeurs supérieures à 0,6. Le mois de juillet quant à lui est composé de tronçons ayant un ratio des vitesses moyen.

Pourcentage des tronçons dont le ratio des vitesses est inférieur à un seuil : Dans ce cas-ci, l'indicateur offrant la plus grande amplitude est celui ayant un seuil de 0,5, bien que ceux avec les seuils de 0,6 et 0,7 varient aussi beaucoup. L'indicateur au seuil de 0,5 permet de distinguer clairement les mois statistiquement différents par rapport à la moyenne annuelle (Figure 19). Les mois statistiquement identiques à cette moyenne annuelle ont, quant à eux, une part de variation en deçà de celle des mois de février et août.

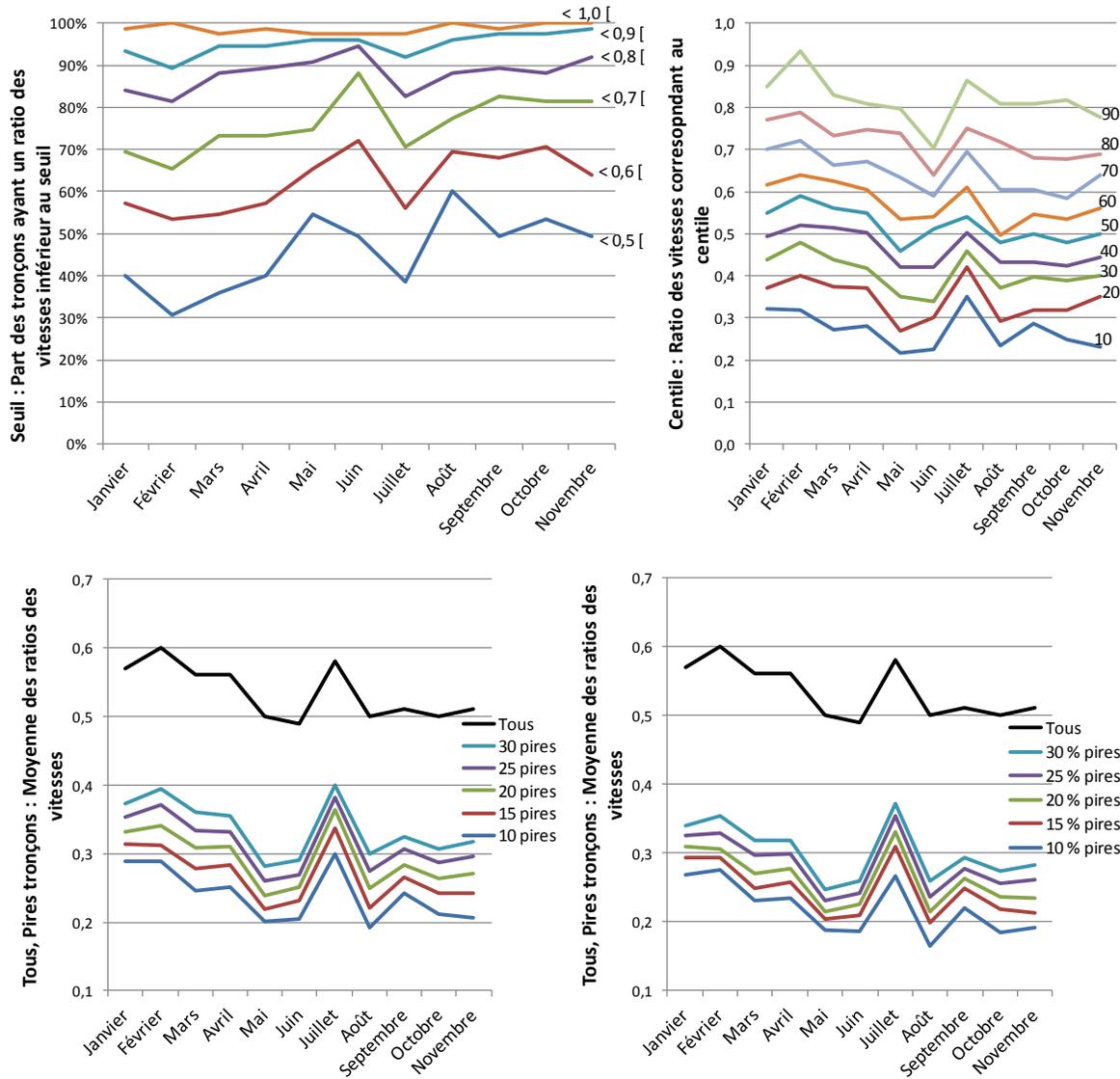


Figure 18. Indicateurs de congestion pour les mois de janvier à novembre en pointe PM pour un jour moyen de semaine

3.1.6 Discussion sur la variabilité des différentes méthodes de calcul des indicateurs

Les paragraphes suivants font état de quelques réflexions quant à l'utilité et l'interprétation des indicateurs préalablement proposés.

Moyenne globale : L'indicateur calculé par la moyenne des ratios de vitesses de tous les tronçons indique davantage la tendance générale. Il varie peu, en partie car la moyenne « résorbe » les cas extrêmes. En outre, il risque d'être peu sensible aux améliorations des conditions de circulation sur des tronçons ciblés pour leur congestion récurrente. Il ne donne de plus aucune information sur la distribution des tronçons. Par exemple, il est impossible de distinguer la situation où il y a à la fois des tronçons très congestionnés et d'autres très fluides (grand écart-type) de la situation où la presque totalité des tronçons est moyennement congestionnés (faible écart-type). Un tel indicateur

peut servir à décrire la tendance générale à long terme, sur plusieurs années par exemple. Par contre, elle ne permet pas d'identifier les tronçons et les moments problématiques.

Moyenne des tronçons ayant les pires conditions de circulation : La moyenne des ratios des tronçons les moins fluides permet d'attirer l'attention sur les conditions les plus alarmantes. Il ne peut exprimer la tendance générale pour les autres tronçons ni exprimer l'ampleur de la problématique de congestion. En effet, les dix pires tronçons ont beau être très congestionnés, cela n'empêchera pas tous les autres tronçons d'être également congestionnés ou à l'inverse, fluides. Cet indicateur peut cependant exprimer la tendance des conditions les plus mauvaises. Par exemple, si l'indicateur augmente, cela signifie que les pires conditions sont beaucoup plus acceptables et moins alarmantes. Cependant, la situation globale pour tous les tronçons peut s'être détériorée. Plus il y a de tronçons intégrés au calcul, plus la situation paraît meilleure.

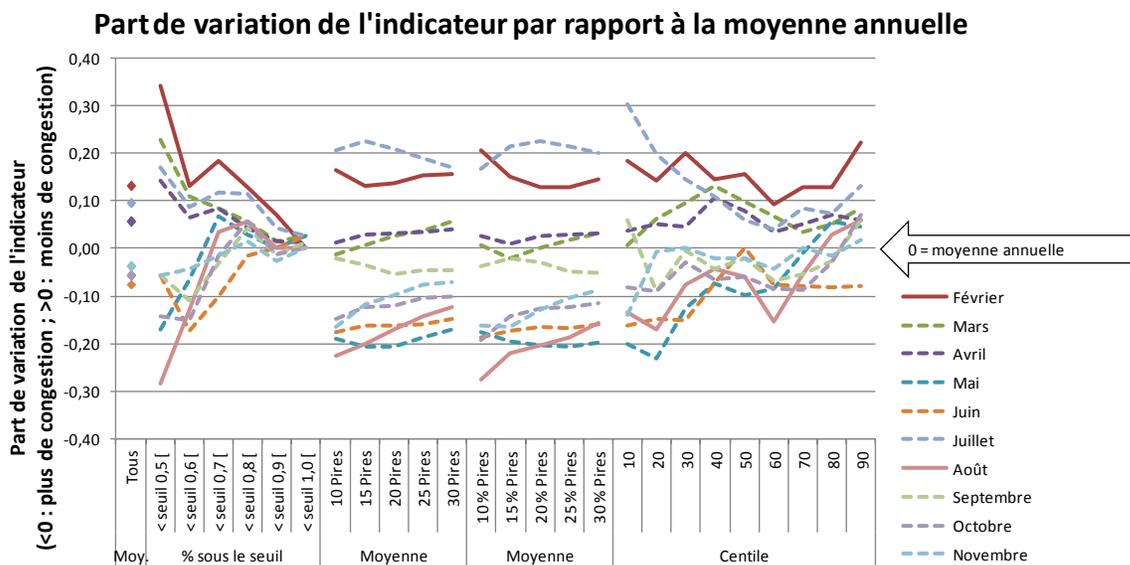


Figure 19. Proportion de variation des indicateurs mensuels en pointe PM par rapport à la valeur moyenne annuelle pour un jour moyen de semaine

Centile : Les centiles permettent de cerner la distribution des tronçons et de comparer plusieurs distributions entre elles, mais le choix d'un centile en particulier ne semble pas permettre l'interprétation d'un état des conditions de circulation.

Pourcentage des tronçons dont le ratio des vitesses est inférieur à un seuil : La proportion de tronçons inférieurs à un seuil déterminé indique l'ampleur des problématiques de circulation par rapport à une attente spécifique. En effet, le seuil représente un niveau de congestion auquel on associe un niveau d'insatisfaction. L'utilité d'un indicateur basé sur un seuil survient lorsque l'on veut connaître les conditions par rapport à une référence. Par exemple, le ratio des vitesses faisant usage d'un seuil peut être fixé par l'objectif d'un plan, ou alors représenter comme la condition minimale socialement acceptable fixée suite à un consensus social. Le seuil peut aussi être déterminé par des données antérieures. Cet indicateur peut aussi constituer un aperçu de la distribution du groupe analysé et servir à identifier les tronçons qui sont problématiques par rapport à notre référence.

La problématique principale avec cet indicateur est qu'un seuil trop élevé englobe trop de tronçons et risque de rendre l'indicateur insensible aux changements d'états des conditions de circulation. Si l'indicateur ne fait pas état de l'évolution, alors à quoi bon le mesurer ? Quel est le seuil approprié ? Les analyses précédentes montrent que les seuils trop faibles ou trop élevés rendant l'indicateur insensible aux variations sont différents selon les groupes analysés. La référence ne peut donc être fixe pour toutes les analyses et une méthodologie de détermination du seuil devrait être développée, ce qui est l'objet du cas 4.

3.1.7 Résultats préliminaires : Cas 4 et 5

Cas 4 : Les mois de l'année pour les différentes périodes horaires, Un seuil de référence variable

L'analyse mensuelle de la pointe PM est intéressante, mais ne confirme pas toutes les présomptions auxquelles on s'attend, notamment que le mois de septembre est un des plus congestionnés en raison de la reprise scolaire. Il a donc été décidé d'étendre l'analyse mensuelle aux autres périodes horaires.

Cependant, suite aux constatations précédentes, une autre approche a été utilisée. Dans ce cas-ci, la comparaison avec l'analyse statistique ainsi que les estimations à partir des différentes méthodes de calcul n'ont pas été reprises. La formulation développée ici s'inspire des limites de l'indicateur sous forme de pourcentage sous un seuil fixe (formulation c, Tableau 2). En effet, le seuil adéquat est sujet à discussion. Rappelons que, dans la littérature, Lomax, Turner et Shunk (1997) indiquent que « les automobilistes identifient habituellement une situation comme de la congestion quand la vitesse est réduite à environ 60% à 70% de la vitesse à écoulement libre. » Le Ministère des transports du Québec suggère quant à lui d'utiliser un seuil de 0,6 (Gourvil et Joubert, 2004).

Or, à la lumière des expérimentations préalablement présentées le seuil à utiliser comme référence dans la formulation de l'indicateur n'apparaît pas clairement. Par exemple, si le seuil est fixé à un ratio des vitesses de 0,8, trop de tronçons y sont inférieurs en période de pointe PM. En effet, entre les mois de janvier et novembre 2010, le pourcentage se situe toujours entre 81 % et 95%. L'indicateur variant peu, il est difficile de distinguer les mois où la circulation est plus fluide. Pour la période de pointe PM, un seuil plus faible tel 0,5 montre davantage les variations mensuelles des conditions de circulation.

À l'inverse, un seuil aussi faible que 0,5 appliqué à la période hors-pointe de nuit entrainera de faibles variations mensuelles de l'indicateur, car la grande majorité des tronçons ont un ratio des vitesses proche de 0,9. Ainsi, pour la période hors-pointe de nuit, un seuil plus élevé comme 0,8 assurerait une plus grande variabilité de l'indicateur.

Il semble donc que le seuil assurant une variabilité de l'indicateur représentative des fluctuations de conditions de circulation soit différent selon la période horaire considérée.

Quel seuil de référence permet donc d'établir à partir de quand un état de circulation n'est plus acceptable? Les observations précédentes confirment que l'état de circulation inacceptable, et donc le seuil de référence, risque de varier d'une période horaire à l'autre. Ces constatations appuient en partie les observations issues de la littérature sur le concept de congestion : un état de circulation « acceptable » dépend des attentes des usagers de la route, qui varient selon chaque individu, le temps et l'endroit (Delcan et al., 2006; Federal highway administration, 2012).



Puisqu'il est souhaité que le seuil de référence trace la ligne entre un état de circulation acceptable et inacceptable, alors il est envisageable que ce seuil varie selon les attentes des usagers, le temps, l'endroit et même l'individu. À quel état de circulation s'attendent donc les usagers, selon l'heure du déplacement et le trajet qu'ils empruntent ? La réalisation d'une enquête de type préférences déclarées pourrait alimenter des analyses sur l'influence des caractéristiques de l'individu et celles de ses déplacements (travail, loisir, etc.) sur la tolérance face à la circulation au ralenti.

Dans cette section, il est proposé de supposer que l'utilisateur s'attend à un état de circulation différent selon la période horaire de la journée, en semaine. Ainsi, le seuil de référence varie selon la période horaire. Il a été supposé que l'utilisateur s'attend à circuler aux conditions moyennes annuelles pour une période donnée. Ainsi, pour une période horaire donnée, les tronçons ayant un ratio des vitesses supérieur ou égal à la moyenne annuelle des ratios des vitesses pour cette période seront catégorisés comme ayant des conditions de circulation acceptables (ou bonnes). Inversement, les tronçons inférieurs à cette moyenne annuelle auront de mauvaises conditions de circulation. Afin de s'assurer de représenter les détériorations des conditions de circulation pour certains mois, il a été décidé de séparer les très mauvaises conditions de circulation de celles dites mauvaises. Cette séparation a été fixée à la moitié de la moyenne annuelle.

Les quatre graphiques de la Figure 20 montrent la part des tronçons dans chacune de ces trois catégories de condition de circulation.

Pour chaque période horaire, seuls les tronçons ayant au moins 10 observations GPS par mois ont été retenus. Étant donné que les tronçons retenus ne sont pas les mêmes pour chaque période horaire, les quatre périodes ne peuvent pas être comparées entre elles. Notons que l'expérimentation devra être réalisée de nouveau en uniformisant les tronçons retenus pour toutes les périodes horaires. La moyenne annuelle du ratio des vitesses, qui correspond au seuil d'acceptabilité des usagers, est calculée à partir des tronçons retenus : 0,71 en pointe AM, 0,76 en hors-pointe du jour, 0,53 en pointe PM et 0,84 en hors-pointe de nuit.

Les graphiques illustrent les variations mensuelles des conditions de circulation, et ce pour chacune des périodes horaires. Tels qu'analysé précédemment pour la période de pointe PM, l'état de la circulation se détériore aux mois de mai et juin, et de août à novembre. Les mois de janvier à avril, ainsi que celui de juillet, sont plus fluides. En pointe AM, les mois les plus fluides sont toujours ceux d'hiver, ainsi que ceux de juillet et d'août. La reprise scolaire en septembre semble transparaître par la démarcation entre les proportions entre août et septembre. La pointe AM semble peu touchée par les périodes de construction en juillet et en août. Pour ce qui est des périodes hors-pointe, peu de tronçons, voire aucun, ont de très mauvaises conditions de circulation. La nuit, les mois de juin à novembre comptent des parts égales de tronçons catégorisés mauvais et bons, ce qui traduit peut-être la construction de nuit sur les tronçons routiers, inexistante lors des mois de gel. Les mois de janvier à mars comptent une grande part de tronçons de bonne condition de circulation. Le jour entre 9h et 15h, les mois d'hiver (de janvier à mars) comptent une majorité des tronçons (entre 67 % et 76 %) avec de bonnes conditions de circulation.

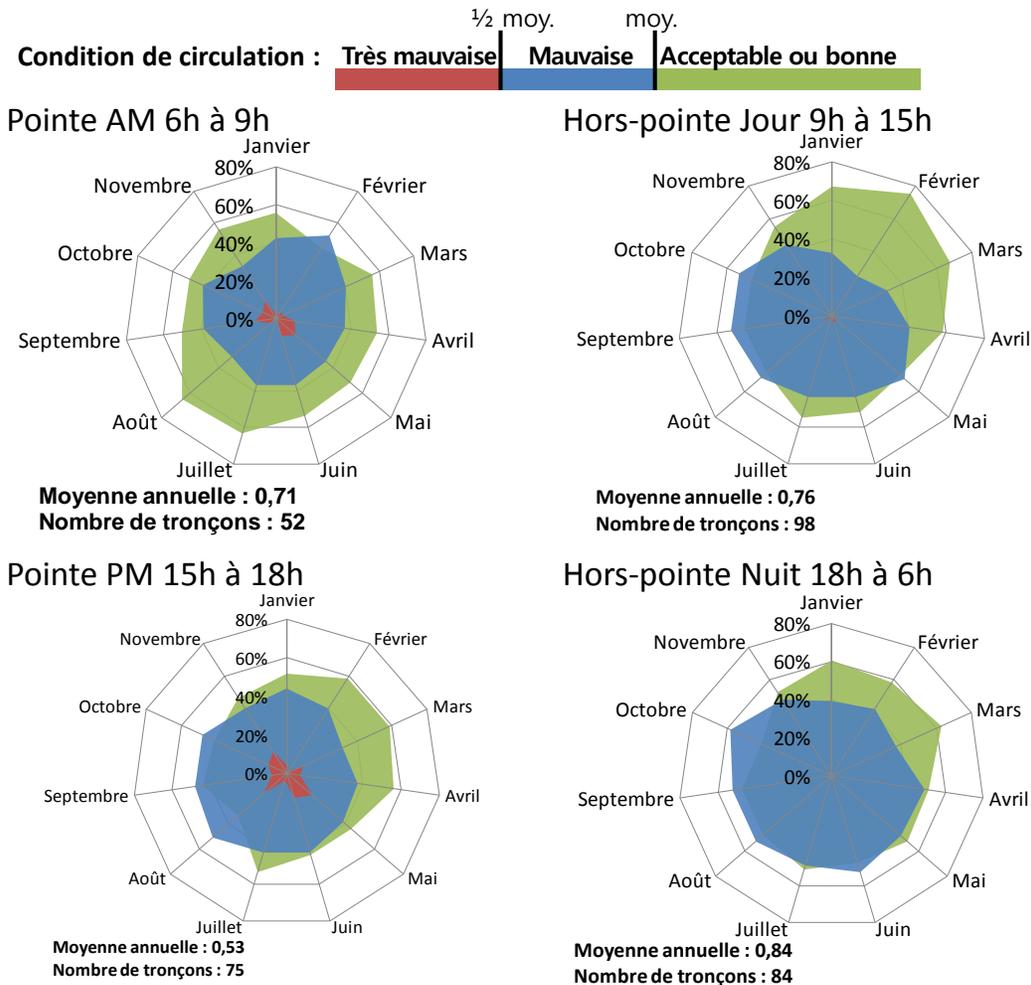


Figure 20. Pour chaque période horaire, proportion des tronçons de très mauvaise, mauvaise et bonne condition de circulation, d'après un seuil d'acceptabilité des usagers représenté par la moyenne annuelle

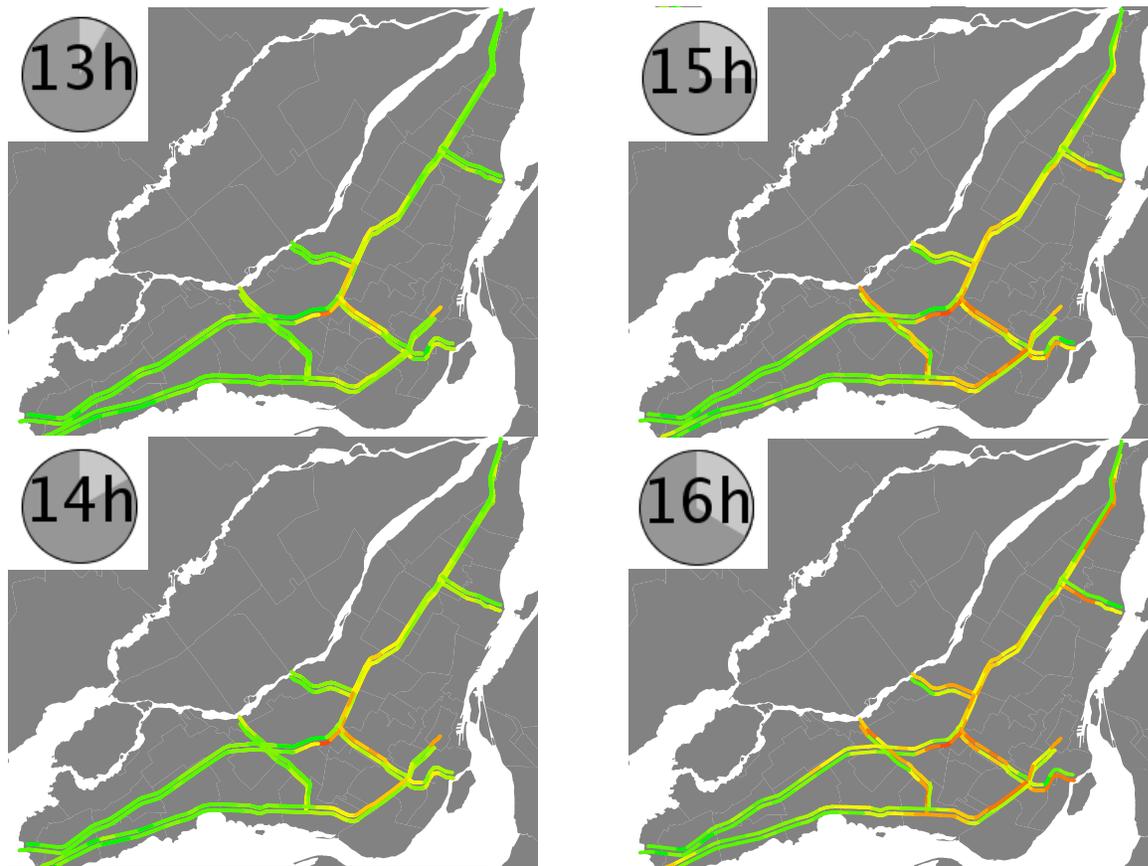
Bref, cette formulation de l'indicateur se référant à un seuil représentant les attentes des usagers variant selon le moment du déplacement propose une possibilité alternative au seuil fixe. Afin de poursuivre cette démarche de seuil variant en fonction des attentes des usagers, il pourrait être envisagé de faire varier le seuil en fonction de la position d'un tronçon sur le territoire. En effet, un usager ne s'attend-il pas à plus de congestion lorsqu'il se rapproche du centre de l'Île de Montréal, et inversement lorsqu'il s'en éloigne?

Cas 5 : Les heures de la journée

Le phénomène de congestion sur l'Île de Montréal et l'identification des tronçons critiques peuvent nécessiter un niveau d'agrégation temporel plus faible. Une visualisation du phénomène par animation cartographique a été réalisée, avec agrégation par heure pour une journée moyenne de semaine. Cela permet de mettre en valeur les endroits et les moments de la journée les plus critiques.

La Figure 21 montre les ratios de vitesses de 13h à 16h. Dans ce cas, un minimum d'une observation GPS par heure a été choisi; les 231 tronçons sont donc retenus. Dans l'animation, les tronçons pour lesquels aucune observation n'a été relevée sont en gris pour l'heure concernée.

Ces cartes de la Figure 21 illustrent l'étalement graduel de la congestion, partant de l'échangeur des autoroutes 40 et 15 à 13h jusqu'aux extrémités de l'Île vers 16h.



Légende

Ratio des vitesses

- ≤ 0.10
- 0.11 - 0.20
- 0.21 - 0.30
- 0.31 - 0.40
- 0.41 - 0.50
- 0.51 - 0.60
- 0.61 - 0.70
- 0.71 - 0.80
- 0.81 - 0.90
- 0.91 - 1.00
- > 1.00

Mauvaise circulation



Bonne circulation

Figure 21. Évolution conditions de circulation entre 13h et 17h pour un jour moyen de semaine

3.1.8 Discussion sur les expérimentations à venir

Les résultats des indicateurs précédemment développés ont l'inconvénient de dépendre de la quantité des données disponibles dans la base de données Communauto. Par exemple, la limitation à l'Île de Montréal montre peu les effets de pointe en banlieue. Élargir la zone considérée aux banlieues proches serait approprié pour mieux comprendre le phénomène de congestion dans la région. Dans le même ordre d'idées, certains tronçons sur l'Île de Montréal ont été exclus de certaines analyses en raison d'un nombre trop faible d'observations. Pourtant



probablement congestionnés, certains tronçons en direction du centre-ville ont été exclus des analyses en pointe AM en raison d'un manque d'observations GPS.

En outre, le fait d'inclure tous les tronçons du territoire étudié dans le calcul de l'indicateur a pour effet d'accorder un poids égal à tous les tronçons. Cependant, beaucoup de tronçons ne sont pas nécessairement les plus achalandés, ceux névralgiques ou ceux dont on souhaite surveiller l'évolution des conditions de circulation. Cela serait d'autant plus vrai si le territoire considéré devait s'étendre au-delà de l'Île de Montréal suite à une disponibilité plus grande des données.

D'autres cas d'étude sont proposés avec de nouvelles hypothèses de sélection des tronçons retenus pour le calcul de l'indicateur. Voici les expérimentations envisagées :

- Objectif 1) Représenter chaque type de condition de circulation en sélectionnant quelques tronçons qui ont toujours soit de très mauvaises, mauvaises ou bonnes conditions de circulation, et ce pour la plupart des périodes horaires ;
- Objectif 2) S'assurer que chaque segment autoroutier d'importance (portion autoroute 40 entre la 15 et la 13, portion autoroute 40 à l'Est de la 25, etc.) ait un poids égal aux autres dans le calcul de l'indicateur, sans égard à la longueur de ce segment. Cet objectif peut être atteint, par exemple, par la sélection d'un seul tronçon autoroutier par segment pour le représenter;
- Objectif 3) Représenter chacune des périodes horaires par la sélection de tronçons représentatifs des lieux de congestion en périodes de pointe et hors-pointe ;
- Objectif 4) Représenter l'état de la circulation pour accéder et sortir de l'Île de Montréal, par la sélection des tronçons adjacents à un pont ou d'autres tronçons critiques.

3.2 Amélioration des méthodes d'estimation des émissions polluantes liées aux véhicules routiers (Enhancing Emission Estimation from On-Road Vehicles)

- Étudiante : Pegah Nouri (doctorat)
- Supervision : Morency
- État : Examen de synthèse réussi, recherche en cours (fin prévue : décembre 2014)
- Financement : Chaire Mobilité

3.2.1 Introduction

La température globale autour du globe a graduellement crû à travers le temps mais, depuis les années quatre-vingt, ce réchauffement est en accélération. L'effet du réchauffement climatique n'est pas homogène à travers les régions et cela dépend du niveau de vulnérabilité et d'adaptation possible. En Amérique du nord, les impacts anticipés sont des inondations hivernales, des difficultés pour certains types d'agriculture, plus de vagues de chaleur dans les villes, augmentation du niveau des mers et les incidences sur les habitats naturels. La plupart de ces impacts sont irréversibles.

Il y a plusieurs facteurs qui ont un impact sur le climat : les radiations du soleil, la localisation de la terre par rapport au soleil, la réflectivité de la terre qui est influencée par l'activité humaine, la réflexion des rayons de soleil par les nuages et autres particules fines, et, de façon plus importante, par la présence de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Les GES sont les gaz qui emprisonnent la chaleur dans l'atmosphère. Les principaux GES qui découlent de l'activité humaine sont les dioxydes de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde d'azote (NO_2) et les gaz fluorés (CFCs, HCFCs, et halons).

Les différents GES n'ont pas la même capacité à absorber la chaleur. Cette capacité est mesurée par le Potentiel Global de Réchauffement (Global Warming Potentials - GWP). En plus de la capacité d'absorbance de la chaleur, l'autre facteur déterminant le GWP est la durée de vie du gaz dans l'atmosphère. La durée de vie dans l'atmosphère est le temps requis par le gaz pour quitter l'atmosphère.

Tableau 3. Caractéristiques des principaux gaz à effet de serre

Nom du gaz	Atmospheric lifetime (years)	100-Year GWP
Dioxyde de carbone (CO_2)	50-200	1
Méthane (CH_4)	9-15	21
Oxyde d'azote (N_2O)	120	320
Hydrofluorocarbure (HFCs)	264	11,700

En Amérique du nord, les activités routières sont les principales sources de GES; elles sont responsables d'environ 43% des GES au Québec (Figure 22). Les émissions des véhicules sont divisées en trois catégories : émissions du tuyau d'échappement, émissions évaporatives, émissions pendant le cycle de vie. Les émissions du tuyau d'échappement réfèrent aux gaz émis pendant l'opération du moteur.

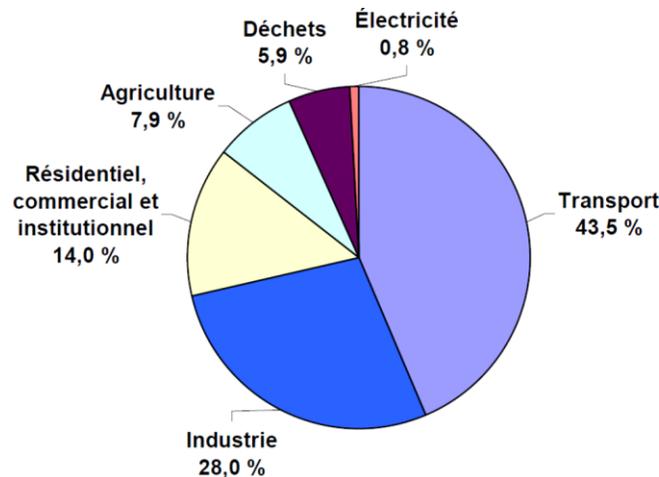


Figure 22. Distribution des émissions de GES au Québec en 2009, par industrie

Les émissions des tuyaux d'échappement n'ont pas que des impacts environnementaux, ils ont aussi des impacts sur la santé. À propos des problèmes environnementaux, il est nécessaire, plus que jamais, de porter attention au rôle des transports dans la production de GES. Ainsi, il est important de développer des politiques environnementales visant à réduire les émissions de CO₂. Différents pays ont utilisé différentes politiques pour réduire les GES incluant le design des véhicules motorisés, les sources alternatives d'énergie, les politiques de tarification des véhicules et de l'essence et les politiques de gestion de la demande. Les plus récentes politiques sont les crédits de GES, la bourse du carbone et les taxes sur le carbone.

Malheureusement, en décembre 2011, “Canada formally withdrew from the Kyoto protocol on climate change, abandoning the world’s only legally binding plan to tackle global warming”. Au contraire, le gouvernement du Québec a introduit un système de plafonnement et échange conforme avec le programme de réduction des émissions de GES. Le gouvernement du Québec qui adopte le Western Climate initiative agit de façon indépendante pour créer un marché nord-américain pour les crédits de carbone. Le programme de plafonnement et échange vise à réduire les émissions et encourager les investissements dans les énergies et technologies propres, créer des emplois verts et améliorer la qualité de vie.

3.2.2 État des connaissances

La fonction fondamentale de la politique de plafonnement et échange est d'être apte à mesurer et témoigner des émissions; dans ce contexte, une sous-estimation ou surestimation des niveaux d'émissions peut avoir des incidences sérieuses sur les montants que devront payer les entreprises. Cependant, dans le secteur des transports, avec les technologies et équipements disponibles, il n'est pas possible de mesurer directement les émissions de chaque véhicule; par conséquent, il est nécessaire d'estimer les émissions. Pour ce faire, il est nécessaire d'identifier les facteurs qui affectent les émissions des véhicules : ces facteurs sont divisés en cinq catégories : le niveau d'émissions du véhicule, les paramètres d'utilisation, les modes opératoires, les paramètres ambiants, et les conditions du système de transport.

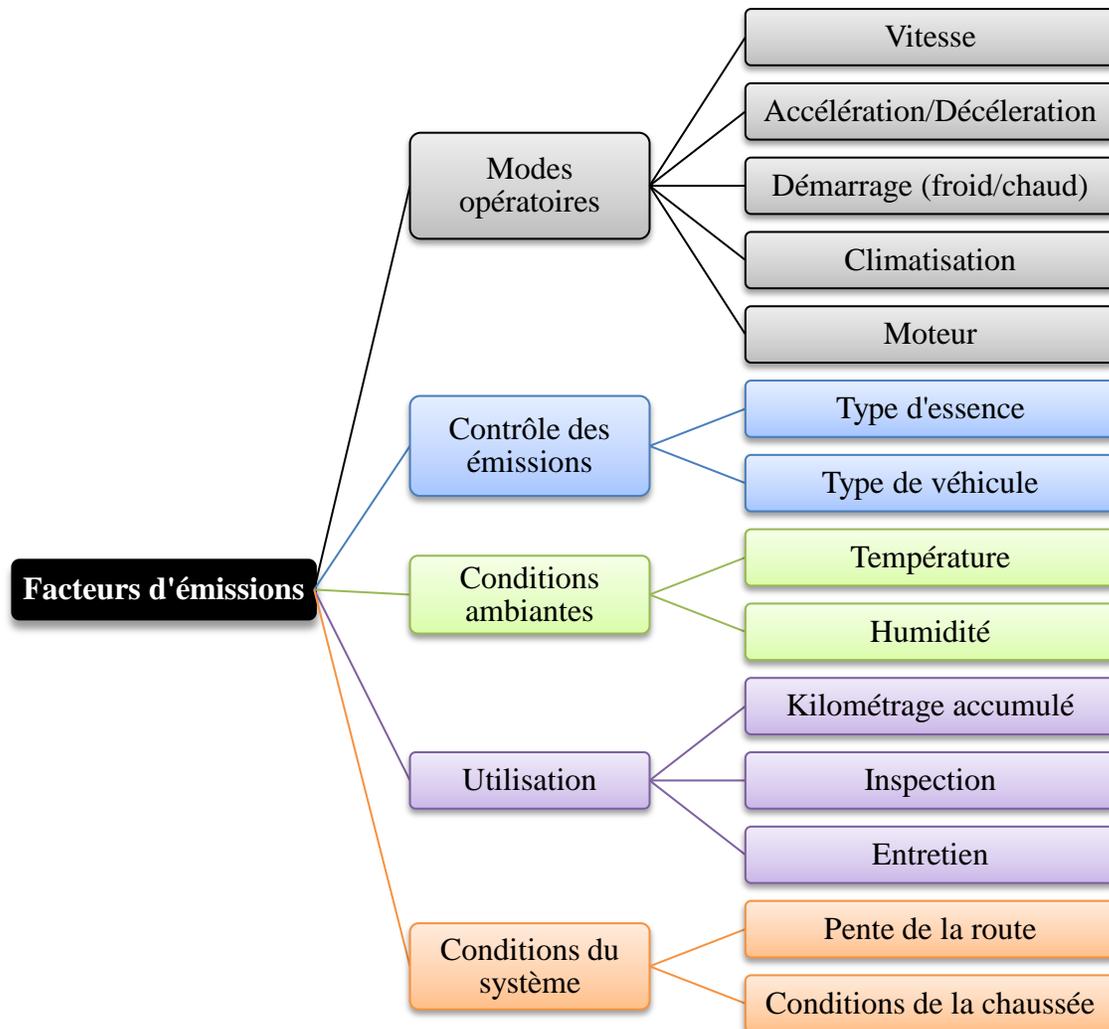


Figure 23. Facteurs d'émissions

De ces facteurs, les modes opératoires, les conditions ambiantes et les conditions du système, changent constamment. Par conséquent, ils exigent un traitement spécial dans la procédure de modélisation. La qualité des estimations de chaque facteur aura un impact significatif sur la qualité des estimations d'émissions.

Il y a différentes méthodes d'estimation des émissions. La précision de chaque méthode dépend grandement de l'inclusion des différentes variables dans l'estimation ainsi que des méthodes utilisées pour les inclure. Sélectionner la méthode la plus appropriée et améliorer les modèles disponibles sont des opérations cruciales pour le gouvernement du Québec, surtout qu'ils envisagent d'adopter le système de plafonnement et échange. L'objectif de ce projet de recherche est de développer une méthode adaptée pour Montréal.

Pour comprendre comment les variations dans les différents facteurs identifiés affecteront les émissions, une illustration est faite pour le cas des vitesses. Tel que montré dans la Figure 24, la vitesse a un impact significatif sur les émissions. Par conséquent, le calcul des émissions basé sur les véhicules-kilomètres parcourus et la vitesse moyenne peut se traduire par des résultats imprécis puisque différentes distributions de vitesses peuvent avoir une même vitesse moyenne et se traduire par des niveaux d'émissions différentes.

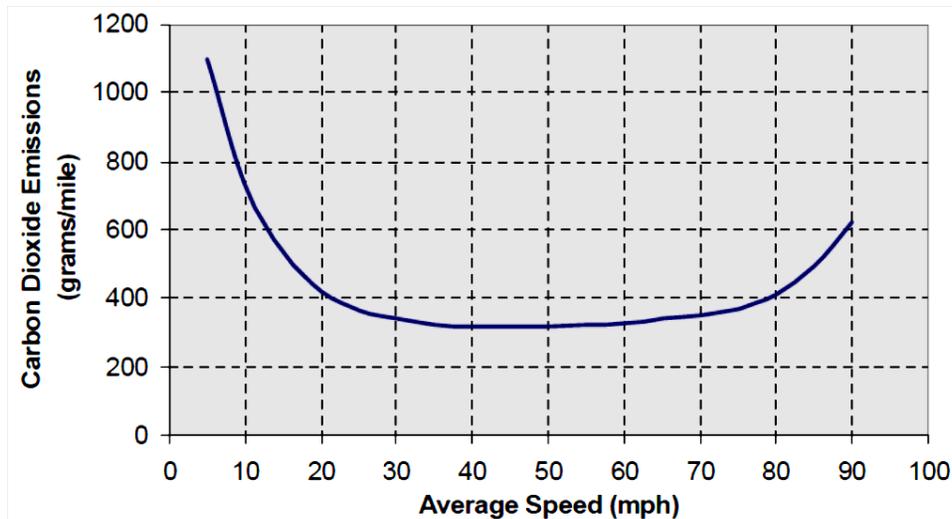


Figure 24. Relation entre la vitesse du véhicule et le taux d'émission de dioxyde de carbone sur un lien particulier

Tel que décrit, la vitesse est un des facteurs ayant le plus d'incidence sur l'estimation des émissions. C'est aussi la variable la plus difficile puisqu'elle change continuellement et instantanément lors d'un déplacement. Il existe différentes méthodes permettant d'inclure la vitesse dans les estimations. La méthode la plus simple consiste à tenir compte uniquement de la vitesse moyenne mais celle-ci est très imprécise. Il en existe d'autres : post-traitement des vitesses, cycle standard, cycle local et vitesse instantanée basée sur les logiciels de microsimulation de la circulation. Ces derniers sont les plus précis; cependant, il n'est pas possible d'utiliser des modèles de microsimulation pour de grands réseaux ou de grandes flottes. Par conséquent, la méthode typiquement utilisée est celle des cycles de conduite.

Un cycle de conduite est grosso modo une synthèse d'un comportement réel de conduite. C'est un profil temps-vitesse qui résulte d'un vaste processus de collecte de données sur le réseau. Il existe déjà différents cycles standard de conduite tels que le FTP (Federal Test Procedure), ECE (European driving cycle), Japanese driving cycle, etc. Le cycle de conduite dépend des comportements de conduite, de la topographie, de la composition de la flotte. Par conséquent, chaque région a son propre cycle de conduite qui peut significativement différer du cycle standard. Ces différences peuvent évidemment affecter l'estimation des émissions. Malheureusement, il n'y a pas, à notre connaissance, de cycles de conduite disponibles pour Montréal.

3.2.3 Objectives

Aussi, tel que mentionné précédemment, différentes méthodes et outils peuvent être utilisés pour estimer les émissions. Cependant, les détails quant à leur niveau de précision et les difficultés liées à leur utilisation ne sont pas bien définis. De plus, aucune recommandation claire n'est faite sur leur utilisation : dans quel contexte, pour quels projets. Dans ce contexte, l'objectif principal de cette recherche est de clarifier les contributions potentielles des différentes méthodes d'estimation des GES en vue d'en faire une recommandation pragmatique et adaptée pour la région. Quatre objectifs spécifiques sont identifiés :

1. Identifier les impacts des différents facteurs d'émission sur les estimations
2. Explorer les effets de la saisonnalité sur l'applicabilité des cycles de conduite



3. Évaluer le logiciel MOVES, logiciel de modélisation des émissions polluantes des véhicules, et discuter des modalités d'application pour Montréal
4. Formuler les recommandations les plus appropriées d'estimation des émissions pour différents projets ou stratégies de transport

3.2.4 Contributions

Cette recherche fera des contributions au niveau des méthodes d'estimation des GES sous trois aspects :

- l'analyse séquentielle permettra de quantifier les impacts de changement dans les principaux facteurs dans l'estimation des émissions ainsi que l'ampleur et la significativité des différences selon les variables considérées;
- l'étude de la saisonnalité et de son effet sur les facteurs et les estimations dans le contexte spécifique montréalais;
- la mesure de la variabilité du cycle standard de conduite et des différences avec les autres cycles.

Ultimement, cette recherche permettra d'identifier la méthode d'estimation la plus adaptée selon le projet, les besoins des partenaires et les données disponibles

3.2.5 Calendrier du projet

	2011			2012			2013			2014		
	H	E	A	H	E	A	H	E	A	H	E	A
Revue de littérature												
Analyser les différentes méthodes and variables												
Développement de cycles de conduite locaux												
Expérimentation de MOVES												
Analyse des résultats												
Rédaction												



3.3 Méthodologie de collecte et analyse de données sur les déplacements commerciaux

- Étudiant : Jason Demers (maîtrise)
- Supervision : Morency et Trépanier
- État : **COMPLÉTÉ – mémoire disponible en annexe**
- Financement : Chaire Mobilité

3.3.1 Objectifs

Ce projet vise avant tout à contribuer aux réflexions et discussions sur les méthodes de collecte et d'analyse de données sur les flux de marchandises et les déplacements commerciaux en milieu urbain. Il propose des pistes de réflexion pour une meilleure méthodologie de collecte visant à soutenir les opérations de planification des déplacements en ville.

Le projet de recherche a aussi permis de dresser un portrait des travaux faits au Québec en matière de collecte de données sur le transport routier de marchandises. De plus, la valorisation d'un ensemble de données ainsi que l'expérimentation d'une collecte de données sont deux activités qui ont été réalisées dans le cadre du projet de recherche.

3.3.2 Constats

La collecte de données sur le transport de marchandises représente une partie difficile du processus de planification pour plusieurs planificateurs de transport en Amérique du Nord. Cette affirmation est appuyée par des écrits et rapports qui ont été publiés sur le sujet depuis bon nombre d'années.

Plus particulièrement au Canada, l'Association des Transports du Canada (ATC) a publié en 2007 un important rapport visant à recueillir plus effectivement des données de qualité sur le transport de marchandises. L'ATC évoque que « *l'exécution d'enquêtes (...) pose plusieurs défis* » et que « *les besoins en données (...) sont beaucoup plus grands que ceux qui, traditionnellement, étaient associés à l'élaboration de modèles de prévision de transport* ». On souligne l'intérêt que peuvent avoir les divers intervenants des secteurs publics et privés et on soulève l'existence du problème de coordination des efforts de collecte de données, résultant en une variation qualitative et de fiabilité dans ces données.

Dans la grande région englobant les villes de Toronto et Hamilton, le Greater Toronto and Hamilton Area (GTHA), l'agence gouvernementale Metrolinx a produit en février 2011 un document sur le transport urbain de marchandises : GTHA Urban Freight Study. Produite en tant que première étape afin d'explorer le transport urbain de marchandises dans cette région, cette étude vise à se pencher sur tous les aspects du sujet. Dans le but de développer des actions afin d'augmenter l'efficacité et la capacité du mouvement de fret à l'intérieur du GTHA, l'étude identifie des défis à relever, dont le partage des données de la part de l'industrie. Cette reconnaissance provient du fait qu' « *en dépit de l'importance du camionnage dans le GTHA, on n'en connaît largement pas assez à son propos* ». Une des causes importantes notée ici et menant à ce constat est que « *les gouvernements n'ont généralement pas démontré la valeur du partage de ces informations envers l'industrie* » par le passé. Plus encore, « *les demandes d'accès aux données n'ont pas été coordonnées et ils (préciser qui?) n'ont pas expliqué leur besoin pour celles-ci et comment elles allaient être utilisées* ». Il est finalement clairement indiqué, à titre de direction à emprunter ou d'actions à poser, que de bonnes sources d'information mènent à de



bonnes décisions, si bien qu'une « *enquête récurrente des [...] heures, fréquences et trajets de livraison, ainsi que des véhicules utilisés, aiderait à la compréhension approfondie des mouvements urbains de marchandises* ».

Du côté de la recherche, le professeur Matthew J. Roorda, de l'Université de Toronto, a réalisé plusieurs travaux depuis quelques années afin d'améliorer la compréhension de la situation et plusieurs de ses publications font état de nombreux accros auxquels on peut faire face lors d'une tentative de collecte et d'analyse de données. Le « *manque de données décrivant les mouvements de fret urbain et le comportement des firmes de transport* » et la « *littérature insuffisante décrivant comment les données peuvent être recueillies le plus efficacement possible et avec des résultats de qualité supérieure* » sont deux constats frappants évoqués dans ses travaux. Aussi, selon lui, « *l'utilisation du système canadien bien développé de transport de biens et de personnes n'est pas bien comprise, particulièrement en zone urbaine* ». Les objectifs d'évaluation de « *la durabilité des impacts à la fois d'aménagement urbain et de politiques économiques* » ainsi que de justification des investissements dans les infrastructures de transport requièrent de développer « *une capacité d'analyse de transport balancée entre le fret et les personnes* ».

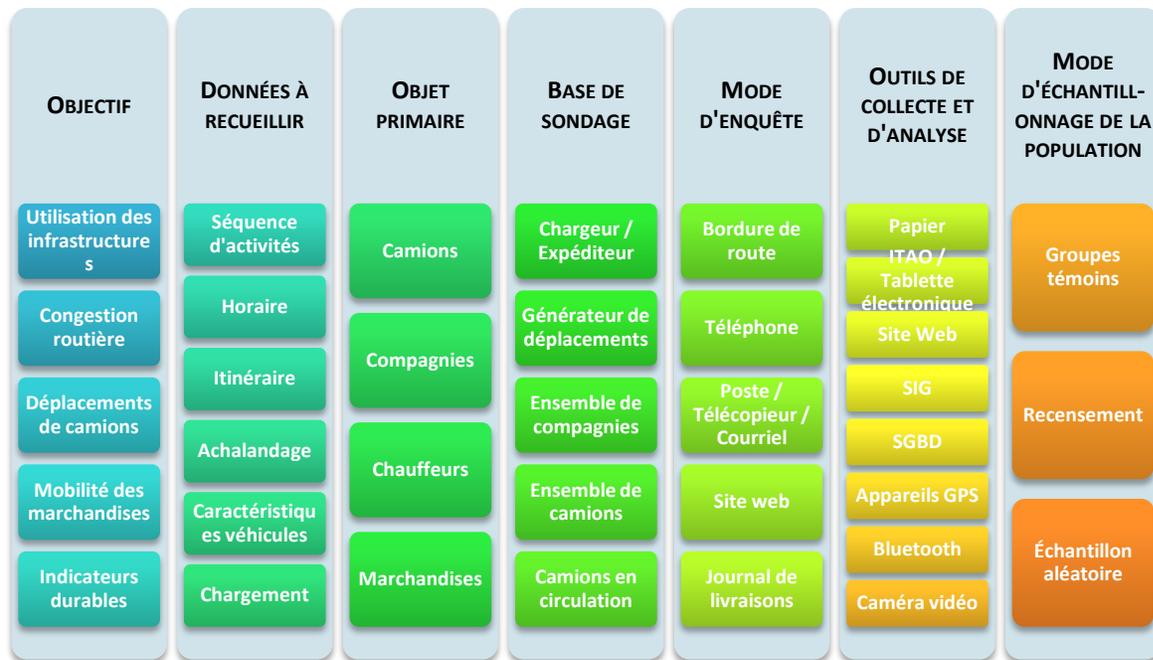
Le Ministère des Transports du Québec a aussi entrepris plusieurs démarches afin d'améliorer les enquêtes menées au sujet du transport de marchandises. Les enquêtes en bordure de route menées au travers du Canada avaient pour objectif principal de caractériser les échanges commerciaux, et donc, se penchaient principalement sur les déplacements de camions lourds. Les déplacements locaux et ceux effectués avec des camions légers étaient négligés. On admet, dans un rapport sur le prototypage d'une enquête auprès des expéditeurs publié en 2007, que les enquêtes en bordure de route gardent « *plusieurs pans du transport des marchandises peu connus (...), bien que les enjeux y soient de taille* ». Une enquête auprès des transporteurs, sur laquelle le MTQ s'est penchée dernièrement et qui fait l'objet dudit rapport, représenterait une partie de la solution applicable au problème récurrent : « *quel que soit le milieu, à peu près aucune information sur les flux de transport des marchandises n'est disponible* ».

3.3.3 Méthodologie de classification des enquêtes

La littérature nous expose donc à plusieurs exemples de collecte de données ayant été menées de manières différentes. Les constats faits suite à ces enquêtes ne se transposent pas toujours aisément mais sont néanmoins une source intéressante de réflexion. Dans le but de mieux situer ces différentes collectes de données, il convient de les classer selon de grandes lignes (propriétés des enquêtes). De cette façon, il appert plus évident de préciser le type d'enquête qu'il faudra mener pour collecter les données de la manière la plus efficace possible.

Trépanier et Morency (2008) ont évalué le montage et la collecte de données effectuée dans la région de Peel, près de Toronto, dans le cadre d'un rapport publié en 2008. Afin d'illustrer les différents moyens et outils disponibles au moment de procéder à une enquête, ils ont proposé un tableau afin de différencier les enquêtes par leurs modes de réalisation. Une version actualisée de ce tableau est proposée dans le cadre de cette recherche.

Tableau 4. Tableau proposé de classification des enquêtes



3.3.4 Enjeux

Actuellement au Québec, le transport des marchandises n'est pas évalué par des enquêtes qui sont récurrentes et bien implantées. Il y a bien quelques enquêtes qui ont été réalisées sporadiquement un peu partout, mais, depuis que l'enquête nationale en bordure de route – menée en 4 occasions au Canada – n'a pas été reconduite selon son cycle habituel de 5 ans (la dernière a eu lieu en 2006), on ne peut pas identifier une enquête permettant de documenter cet aspect et fournir quelques informations pour répondre aux questions que se posent les décideurs. Ce fait est d'autant plus vrai pour les déplacements en milieu urbain, notamment à Montréal, mais aussi assurément dans d'autres grandes régions métropolitaines.

La collecte de données sur le transport des marchandises est limitée dû à de multiples difficultés. On soulève parfois la complexité du système de transport de marchandises, et ce, à juste titre. L'aspect économique régulant bon nombre de décisions, il peut parfois être difficile de développer une compréhension systémique et de bien cerner les multiples interdépendances, surtout de façon externe, le transport de marchandises étant généralement sous la responsabilité de multiples entreprises privées; cela complique l'organisation de collectes de données systématiques et généralisées.

À titre de comparaison, les enquêtes menées auprès des personnes sur leurs déplacements se déroulent selon un processus bien établi qui répond aux attentes des organismes qui bénéficient des données qui sont recueillies. La figure (Figure 25) démontre les liens que l'on pourrait faire entre les enquêtes personnes et celles sur les marchandises : d'une part entre les informations socio-démographiques des deux, en analysant les profils des personnes et des compagnies et d'autre part, les informations sur les mouvements.

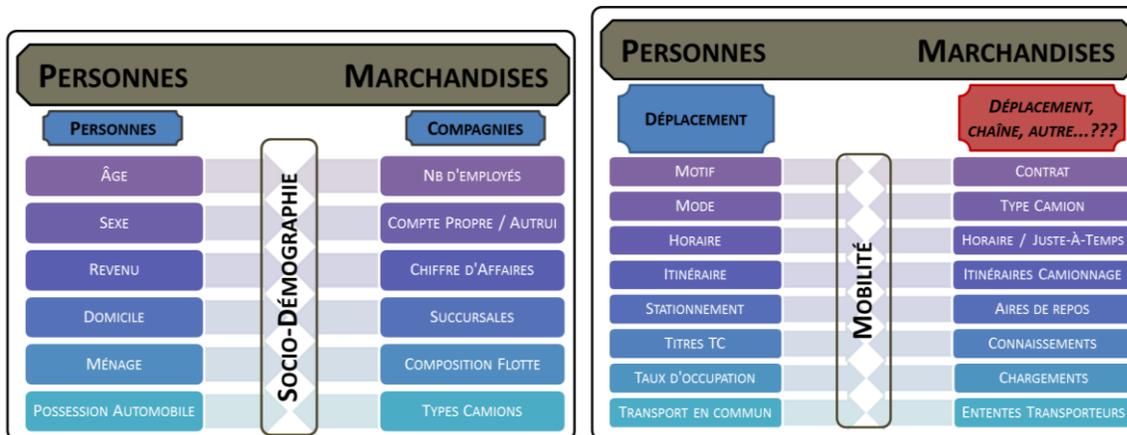


Figure 25. Comparaison des objets des enquêtes personnes et marchandises

On établit aussi la liste, non-exhaustive, de différents cas de déplacements commerciaux afin d'en identifier certains qui ne sont pas relevés (voir Tableau 5). Dans le futur, il y aurait lieu d'évaluer les moyens à prendre pour obtenir un minimum d'information au sujet de ces déplacements, le tout dans le but de dresser un portrait plus complet des déplacements commerciaux s'effectuant dans les milieux urbains.

Tableau 5. Type de déplacements commerciaux enquêtés ou non

<u>Type Entreprise</u>	<u>Enquêté</u>	<u>Identifiable</u>	<u>Nom ou Organisme</u>
Transporteurs	OUI	OUI – Tous	NRS
Messagerie	1997 à 2008	Généralement	Statistique Canada
Services (plomberie, réparations, télécommunications,...)	NON	Variable	
Livraison sur commande (Restauration, Alimentation, Santé,...)	NON	Généralement	
Déplacements commerciaux avec véhicules personnels	NON	NON	
Déplacements commerciaux avec véhicules de compagnie	NON	Variable	
Matériaux de construction lourds	NON	OUI	
Services publics (Déneigement, Nettoyage, Voirie, ...)	NON	OUI	
Déménagements	NON	Généralement	

3.3.5 Possibilités de travaux de recherche futurs

Analyse et exploitation de données GPS

La technologie de positionnement global par GPS est de plus en plus introduite dans les camions, permettant aux entreprises de faire un suivi plus rigoureux de leurs opérations. Évidemment, ce



type de donnée serait très utile pour comprendre la structure spatio-temporelle des déplacements commerciaux par camions. L'analyse et l'exploitation de ces données pourrait aider à déterminer, entre autres, les corridors de déplacements les plus utilisés, le temps passé en congestion, les origines et destinations les plus communes.

Méthodologie de collecte de données auprès d'un chargeur ou d'un générateur

Nous avons discuté de ce sujet dans les pages précédentes et, dans l'éventualité où une opportunité d'étudier ce type d'enquête se présenterait, il serait intéressant d'en évaluer les potentialités.

Méthodologie de collecte de données multiples visant à créer un système de données viables à l'exploitation

Dans un contexte réaliste, il est pratiquement impossible d'en venir à représenter l'univers de tous les déplacements de camions via une seule et unique enquête. Il faut donc se pencher sur les méthodes de collectes que l'on peut combiner pour développer un ensemble de collectes permettant d'atteindre une représentativité plus globale.

Analyse des déplacements reliés à un centre de distribution ou une grande entreprise générant son transport pour compte propre

D'un point de vue plus désagrégé, l'analyse de déplacements produits par un grand générateur de transport permettrait d'améliorer la connaissance des phénomènes de transport de fret dans des contextes où le volume est élevé et la logistique rigoureuse. De grandes entreprises de transport pour compte propre ont un fonctionnement particulier qui leur permet de tirer profit de leur expertise. Analyser le déroulement de ces activités fournirait le point de vue via un transporteur.

Exploration du montage d'une base de données étendue

En transport des marchandises, plusieurs données peuvent être recueillies sous plusieurs formes différentes. On a remarqué au fil des travaux qu'il était parfois difficile de relier des bases de données entre elles en raison de différences dans la structure et le mode d'entrée des données. Le montage d'un modèle de base de données pour chaque type d'enquête faciliterait la tâche lorsque vient le temps d'effectuer le traitement de données pour produire des analyses. Il faudrait aussi expérimenter les méthodes de fusion de données pour les cas où les bases de données sont différentes, mais pour lesquelles ce serait faisable.

Évaluation du potentiel des capteurs Bluetooth en tant que collecteurs de données de camionnage sur les grands corridors et les ponts de la région métropolitaine de Montréal

La technologie Bluetooth a été introduite il y a quelque temps dans nos communications et présente un potentiel pour recueillir des données. L'évaluation de ce potentiel, des limitations et des équipements requis pour recueillir des données sur les mouvements des camions à l'aide de cette technologie de communication pourrait faire avancer la problématique de collecte de données de camions.

Analyse de l'utilisation des axes routiers majeurs

Les données pour déterminer précisément l'utilisation des grands axes routiers de la région montréalaise ne sont présentement pas disponibles en grand nombre. Il faudrait trouver un moyen de les recueillir efficacement et ensuite les analyser périodiquement afin de connaître l'utilisation des infrastructures par les camions.

3.4 L'accessibilité en transport : méthodes et indicateurs

- Étudiante : Audrey Godin (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : **COMPLÉTÉ** – mémoire disponible en annexe
- Financement : Chaire Mobilité

3.4.1 Introduction

Cette synthèse présente brièvement la problématique et les objectifs du projet de recherche sur l'accessibilité en transport ainsi que la méthodologie générale, les résultats et quelques conclusions. La structure du mémoire est résumée à la figure suivante; les sections colorées de jaune seront abordées dans ce rapport synthèse.

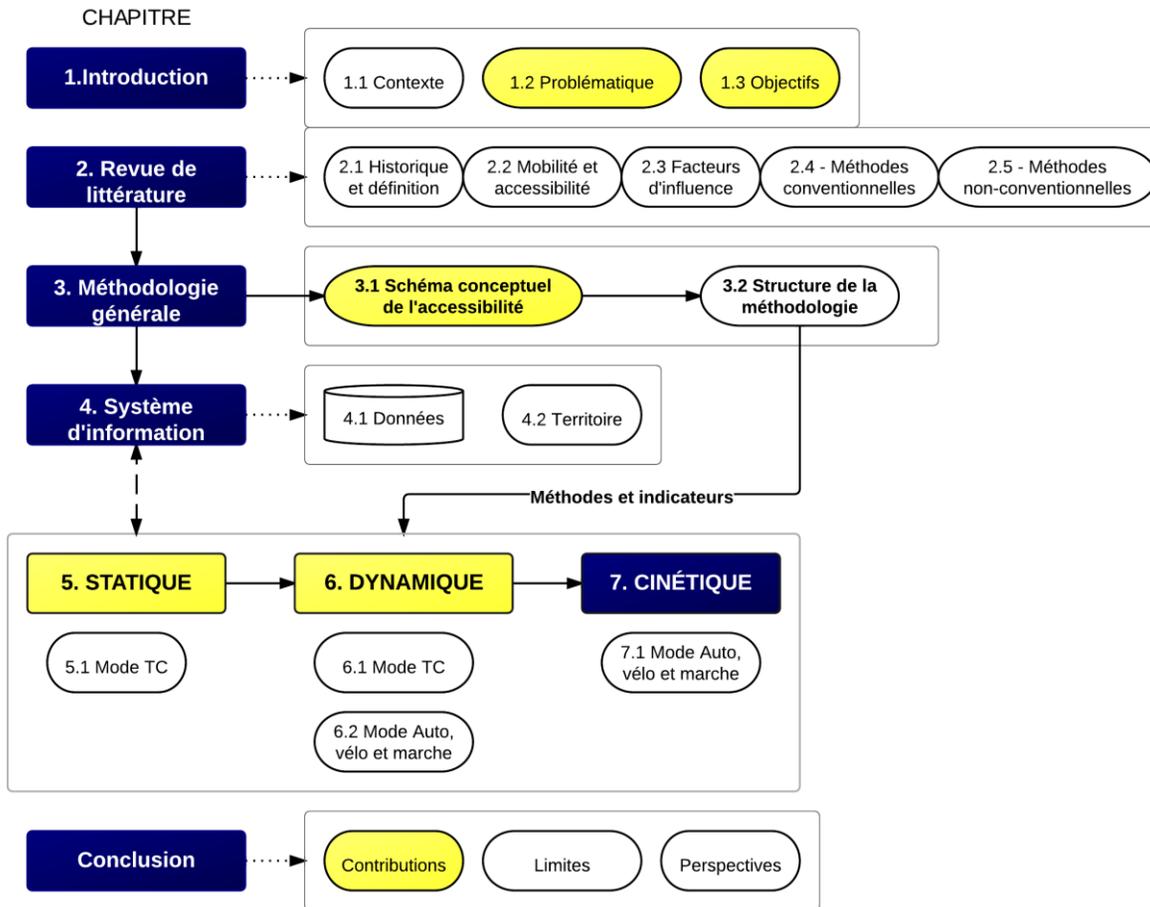


Figure 26. Structure du mémoire, sections et chapitres



3.4.2 Problématique et objectifs

L'arrivée de la voiture a drastiquement altéré l'accessibilité locale. Anciennement, avant les années 1930, le design urbain était fonction de l'accessibilité à pied. Les secteurs étaient diversifiés en activité et en usage du sol. Suivant la motorisation de plus en plus grande des ménages, le design urbain s'est réorienté autour de celle-ci. Cette organisation se traduit aujourd'hui par plusieurs effets dont le fait que la majorité des américains considère l'automobile comme une nécessité (McNeil 2011). La congestion, la pollution automobile et l'étalement urbain en sont des conséquences directes.

Nombreux en sont venus à conclure que ce type d'aménagement urbain n'est pas viable, d'où l'intérêt émergent pour la thématique de l'accessibilité puisqu'il a été démontré qu'une meilleure accessibilité a pour effet général de diminuer l'auto-dépendance et par conséquent les véhicules-kilomètres motorisés. La notion d'accessibilité répond aux objectifs d'évaluation de la performance de la liaison entre le réseau de transport et les activités ou le domicile. Assurer une bonne accessibilité vers différentes possibilités d'activités est une partie intégrante de la vision actuelle du développement durable. Ceci implique la nécessité d'être en mesure d'évaluer la performance des services et des infrastructures de transport à soutenir les besoins de mobilité vers différents lieux et à différentes périodes. Or, la définition de mesures pour décrire l'accessibilité comporte son lot de difficultés. La littérature affirme régulièrement que la majorité des indicateurs développés à ce jour sont incapables de bien représenter tous les aspects du transport. C'est-à-dire qu'un seul indicateur ne peut évaluer l'ensemble des aspects de l'accessibilité. Les indicateurs existants sont parfois difficiles à mesurer ou trop complexes (Mercier and Stoiber 2010).

En fait, la première problématique réelle est que le terme accessibilité fait référence à une variété d'indicateurs et de thématiques différentes. Par exemple, le mot accessibilité peut faire référence à l'accessibilité des personnes à mobilité réduite (accessibilité universelle) tout comme la description de l'accessibilité d'un lieu, par exemple un hôpital, via le transport collectif (accessibilité d'un point d'intérêt). En d'autres termes, l'accessibilité en soi est un concept vague constitué de plusieurs aspects. Cette recherche vise donc d'abord à offrir une nouvelle typologie d'indicateurs d'accessibilité. De cette manière, les différentes composantes de l'accessibilité sont explicitées. Cette typologie est en fait une classification des différents éléments définissant l'accessibilité.

La seconde problématique est liée à la première. Les indicateurs d'accessibilité sont des outils permettant de décrire de manière quantitative l'accessibilité, d'un lieu, d'une personne, d'un territoire ou d'un mode/réseau de transport. Plusieurs facteurs sont à considérer dans l'appréciation de l'accessibilité rendant la proposition d'indicateurs plus difficile. Les facteurs peuvent être, par exemple, l'utilisation du sol, la performance du transport collectif, la connectivité du réseau pédestre, l'aménagement, etc. La question est: comment mesurer l'accessibilité ou bien comment différencier ce qui est accessible de ce qui ne l'est pas? Il s'avère que plusieurs indicateurs sont nécessaires pour offrir une appréciation juste de l'accessibilité. Le choix des indicateurs peut également dépendre de l'objectif visé. Les indicateurs ne seront pas les mêmes pour vérifier l'équité d'accessibilité en transport collectif vers le centre-ville que pour évaluer le potentiel de la marche dans un secteur.

Or, plusieurs indicateurs proposés par la littérature qualifient bien certaines sphères de l'accessibilité. Les méthodes pour les mesurer peuvent par contre être améliorées pour en faciliter l'usage par les planificateurs. Le second objectif est de proposer des méthodes, des outils et des



indicateurs qui décrivent l'accessibilité d'un territoire ou d'un point d'intérêt. La finalité est d'aider les planificateurs urbains à se doter d'indicateurs leur permettant d'évaluer l'accessibilité d'un lieu ou d'un territoire. Les indicateurs peuvent également servir à évaluer le gain potentiel d'accessibilité d'un projet ou à illustrer le gain suite à des modifications sur le réseau. Les indicateurs sont une représentation mathématique de l'accessibilité qui permet de quantifier le niveau d'accès d'un individu, d'un lieu, d'une zone ou d'un aménagement.

3.4.3 Méthodologie générale

Suivant les problématiques rencontrées, l'objectif du projet de recherche est de proposer des indicateurs représentant une variété de composantes de l'accessibilité. Une importance particulière est portée aux indicateurs sensibles à la variation de service dans l'espace-temps. Cependant, avant de procéder à la recherche d'indicateurs, la première étape est de lever la confusion qui existe autour de la notion d'accessibilité, et par le fait même, de ces indicateurs. Bien que cette problématique demeure réelle, il est tout de même possible de proposer un schéma conceptuel regroupant les composantes de l'accessibilité et les relations qui coexistent entre elles. Étant donné l'existence de nombreux et complexes indicateurs d'accessibilité, une des finalités de ce schéma est d'en utiliser les embranchements pour en effectuer une classification. Le schéma assure une structure d'analyse et de compréhension des indicateurs quant aux composantes mesurées.

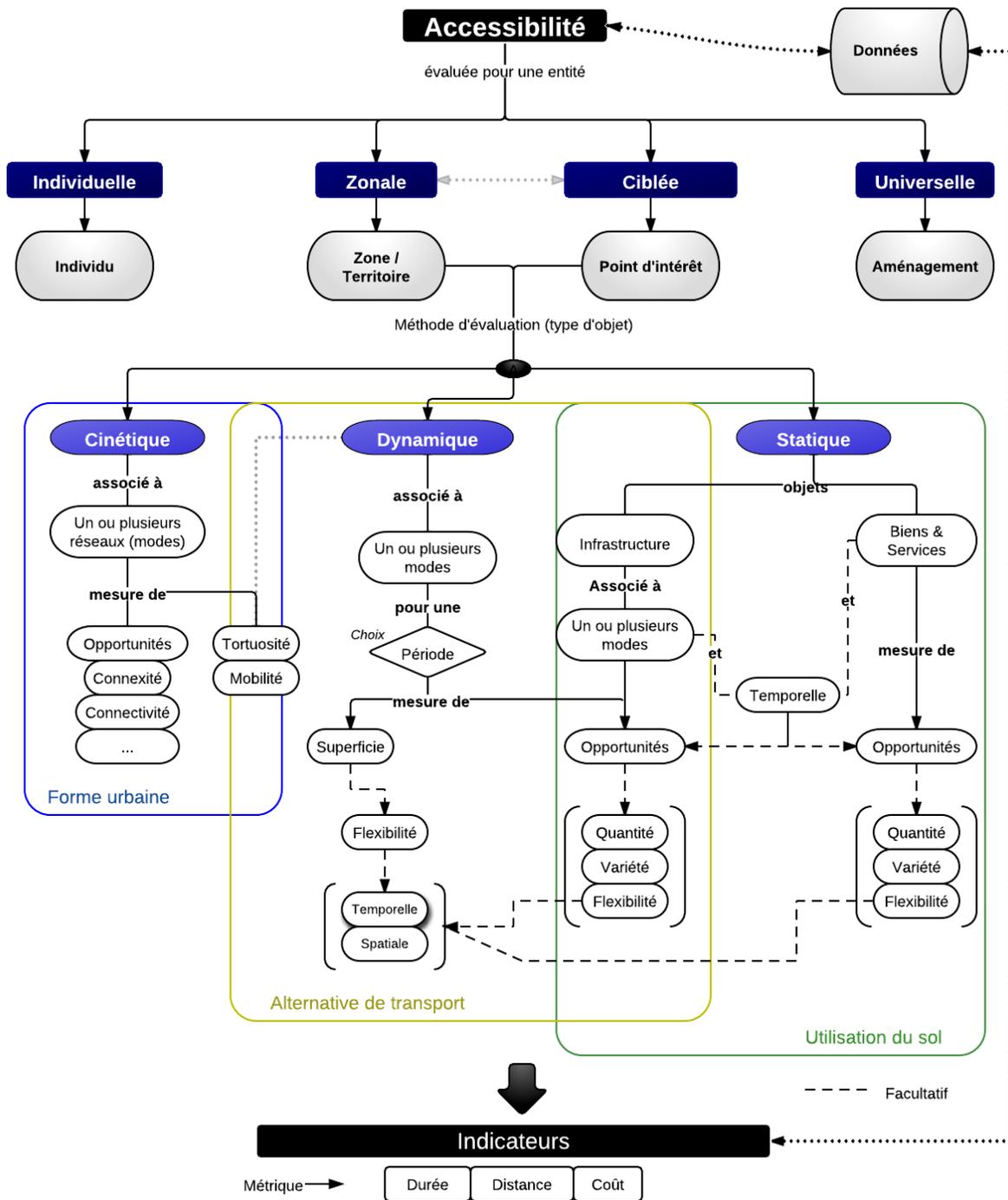


Figure 27. Schéma conceptuel de l'accessibilité

La description du schéma se limitera ici aux deux premiers niveaux de segmentation. La première subdivision est définie selon l'entité globale qui sera évaluée par un indicateur, soit Individuelle (individu), Zonale (zone), Ciblée (Point d'intérêt) ou Universelle (aménagement).

Individuelle : La partie Individuelle rassemble les concepts orientés vers l'accessibilité d'un individu. Dans ce cas, l'accessibilité dépend des contraintes et propriétés personnelles d'un individu, par le fait même, de la dynamique du ménage. Dans cette branche se trouvent les



indicateurs calculés à partir des prismes espace-temps (Lee and McNally 2002) et ceux calculés à partir des modèles d'utilité (Ben-Akiva and Lerman 1985).

Universelle : La partie Universelle rassemble les concepts orientés vers l'accessibilité d'un lieu ou d'un mode par l'ensemble de la population, incluant les personnes ayant des déficiences perturbant leur mobilité. Celles-ci peuvent être d'ordre moteur, visuel, auditif, cognitif et intellectuel. Ainsi, les indicateurs se classant sous cette catégorie témoignent des actions favorisant l'accessibilité universelle. Ils sont généralement utilisés pour évaluer la performance des aménagements. Par exemple, dans un document-synthèse de la Société de transport de Montréal intitulé « *Pour un transport collectif toujours plus accessible* », la section allouée à l'accessibilité universelle renferme des indicateurs tels que le pourcentage des lignes accessibles pour les personnes à mobilité réduite grâce aux autobus à plancher surbaissé (STM avril 2010).

Zonale : La partie Zonale rassemble les concepts orientés vers l'évaluation de l'accessibilité d'un territoire défini comme l'île de Montréal ou l'arrondissement Plateau-Mont-Royal et non un lieu en particulier comme le serait un centre commercial. Un indicateur tel que le pourcentage de la population vivant à moins de 500 m d'un arrêt d'autobus se classerait dans la catégorie Zonale.

Ciblée : La partie Ciblée rassemble les concepts orientés vers l'évaluation de l'accessibilité à partir de/vers un point d'intérêt. Le point peut autant être un générateur de déplacements comme le serait le Centre Bell à Montréal, qu'un domicile quelconque. Un indicateur tel que le nombre de ménages ayant accès à l'hôpital Sainte-Justine en moins de 20 minutes de transport collectif se classerait dans la catégorie Ciblée.

Les mesures de performance d'accessibilité d'une zone (Zonale) ou d'un point d'intérêt (Ciblée) se rattachent nécessairement à des objets de l'espace-temps. Trois grandes classes, tirées de Trépanier (2002), ont été retenues dans ce contexte d'accessibilité : les objets dynamiques, cinétiques et statiques.

Dynamique	Voiture, Train, Autobus, Personne, Vélo, etc.
Cinétique	Lien routier, Autoroute, Rue, Itinéraire, Ligne de TC, Piste cyclable, etc.
Statique	Arrêt TC, Station de Métro de vélopartage ou d'autopartage, Stationnement, Parcomètre, etc.

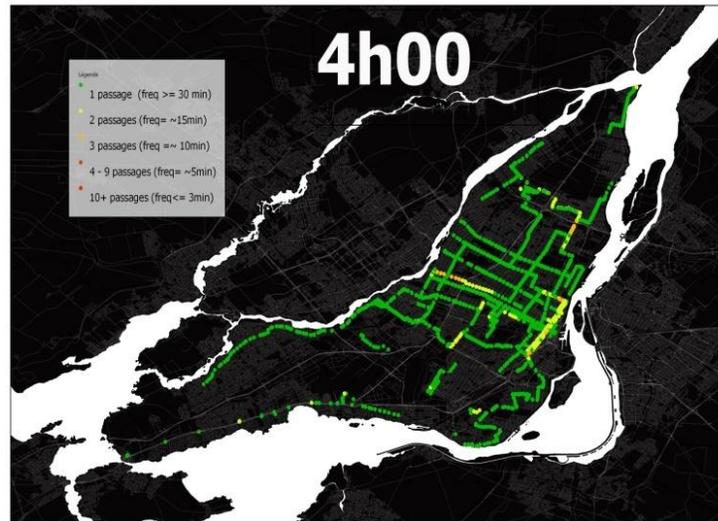
Les objets dynamiques sont en fait les responsables de la mobilité, c'est-à-dire des déplacements sur le réseau. Cet embranchement renferme donc les indicateurs qui servent à évaluer la mobilité, soit la facilité à se déplacer. Les objets cinétiques sont, en quelque sorte, les éléments composant le réseau de voirie. Les indicateurs évaluent donc la performance de la voirie, comme la connexité, par exemple. Les objets statiques sont les infrastructures pouvant jouer un rôle dans une chaîne de déplacements. Les indicateurs liés à cette branche évaluent principalement la présence de ces infrastructures sur un territoire ou à proximité d'un point d'intérêt.

3.4.4 Résultats

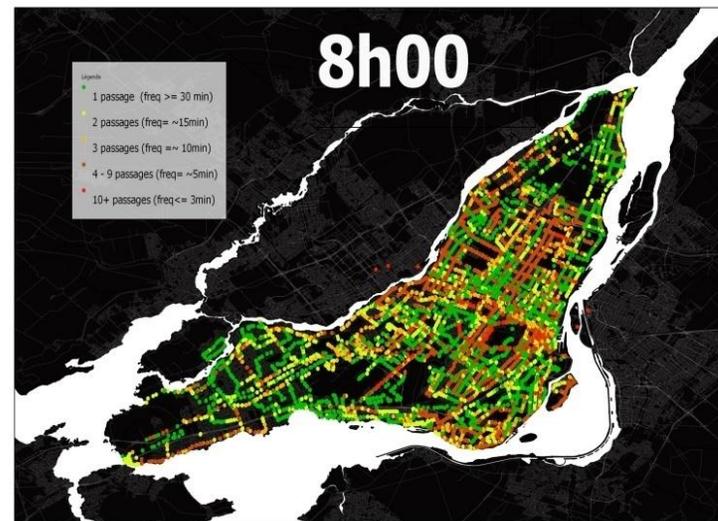
Cette section vise à illustrer certains résultats obtenus quant au développement d'indicateurs d'accessibilité. Chacune des méthodes ne sera pas détaillée, mais l'ensemble découle de l'utilisation de diverses sources de données dont les GTFS de la STM et des outils dont la programmation HTML/ JavaScript combinée à l'API Google maps.

Indicateurs statiques

Des outils ont été développés pour visualiser et analyser la base de données GTFS en termes de qualité de service. Par exemple, un graphique a été produit en effectuant une requête permettant de comptabiliser, pour chaque tranche de 30 minutes, les arrêts avec un minimum de 1 passage durant la période de 30 minutes. C'est-à-dire que si aucun bus ne planifie passer à un arrêt X (numéro d'arrêt) entre 9h et 9h30 par exemple, cet arrêt ne sera pas comptabilisé. Les figures qui suivent sont un support visuel aux résultats. Les arrêts colorés indiquent qu'au moins un passage d'autobus a eu lieu durant la période de 30 minutes débutant à l'heure affichée.



Arrêt STM pour lequel il y a au moins 1 passage durant la période spécifiée de 30 min pour un jour de semaine. (GTFS, novembre 2010)



Arrêt STM pour lequel il y a au moins 1 passage durant la période spécifiée de 30 min pour un jour de semaine. (GTFS, novembre 2010)

Figure 28. Arrêts avec un passage à l'arrêt durant les 30 prochaines minutes suivants l'heure affichée

Il est possible d'effectuer une analyse avant-après des fréquences de passage aux arrêts, suivant une modification du service. Ici, une fonction de densité d'arrêts dans un rayon de 1 km a été utilisée pour observer l'accessibilité à la suite de la révision du service de nuit par la STM en juin 2011. Les GTFS de novembre 2010 ont été comparés à ceux de juillet 2011 à 3h AM (27h).

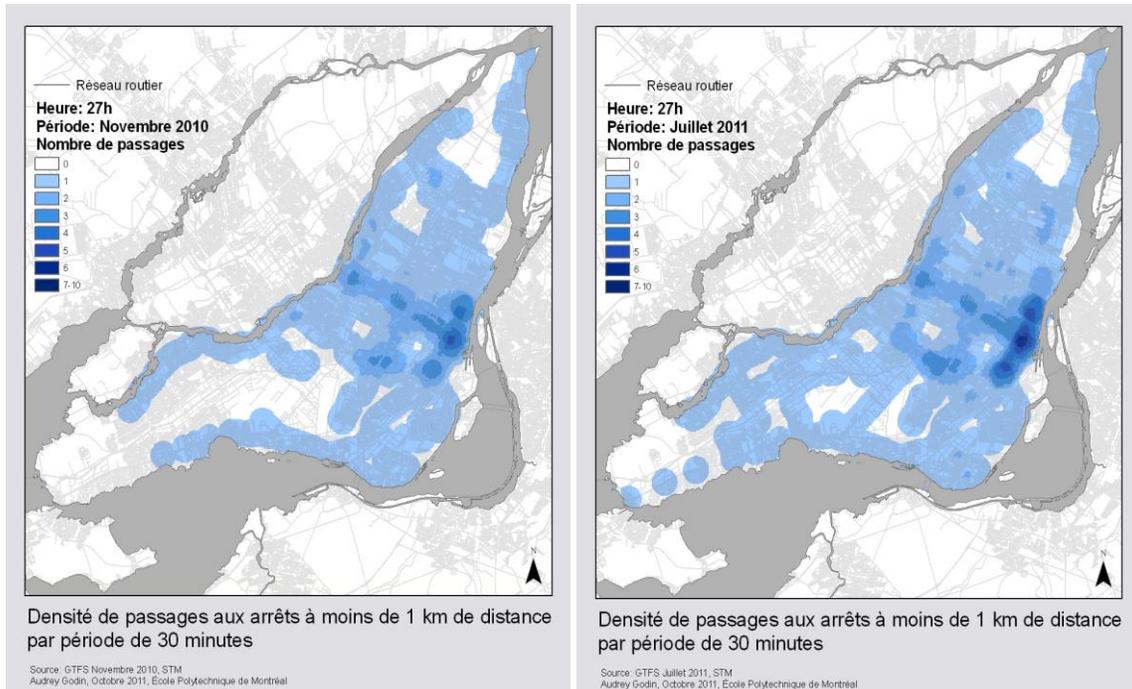


Figure 29. Étude avant-après du réseau de nuit de la STM

Indicateurs dynamiques

Un outil a été développé pour permettre le calcul d'arrêts accessibles. Ce dernier recherche tous les arrêts/stations accessibles dans un espace de temps à partir du point d'origine spécifié, une heure et une journée. La figure suivante illustre une des finalités potentielles de l'outil, qui consiste à évaluer la surface accessible à partir d'un point en transport collectif. La surface accessible en 20 minutes a été évaluée pour 3 centres commerciaux.

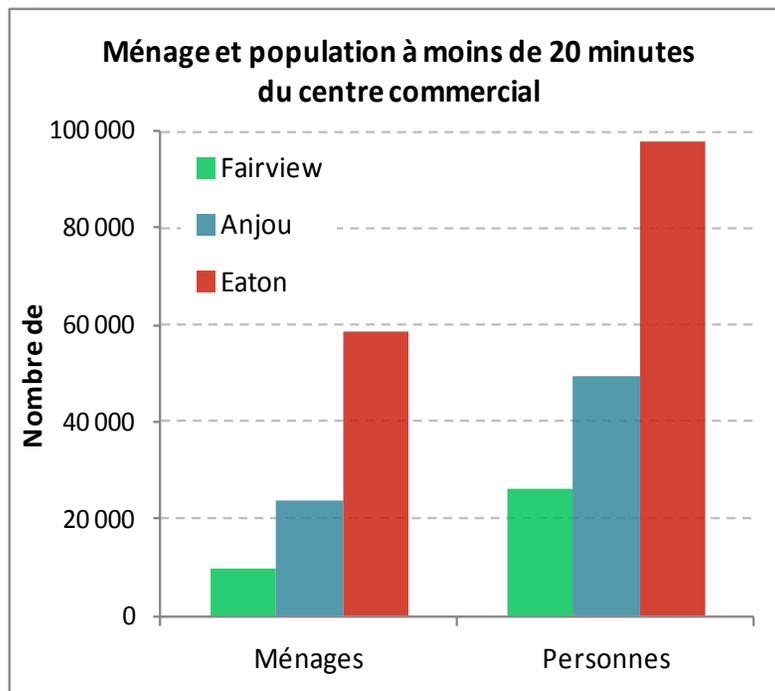
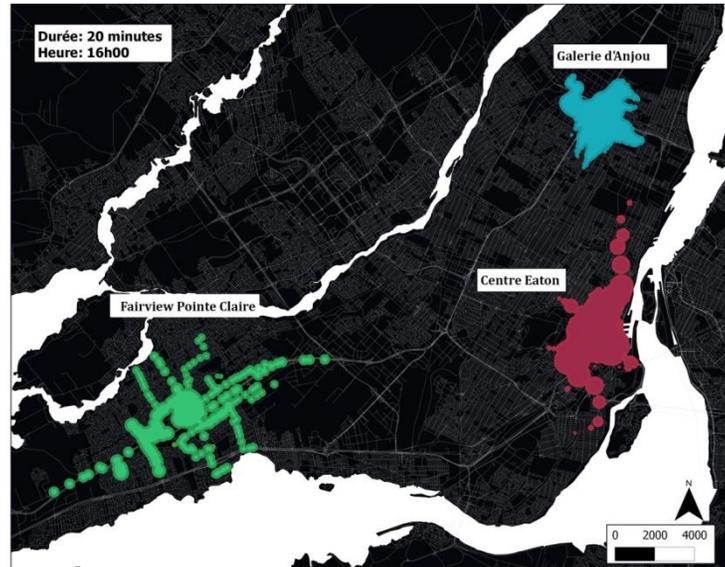


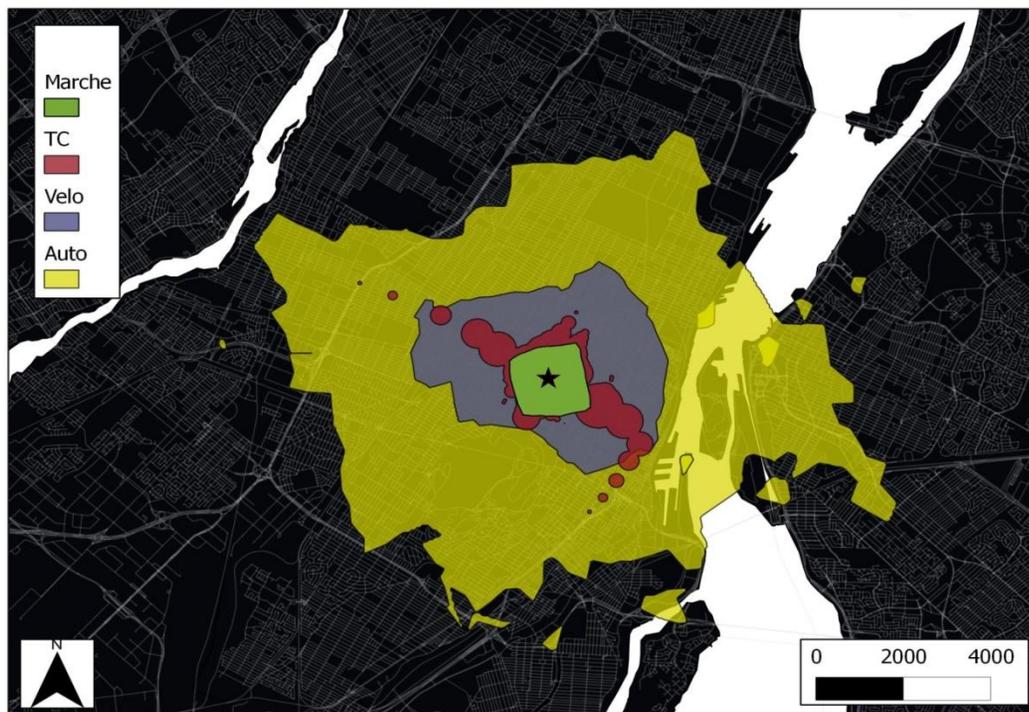
Figure 30. Résultat du calculateur de trajet: Lieu accessible en TC selon une heure et un période de temps

Le nombre de ménages résidant à l'intérieur de chacune des surfaces a été comptabilisé.

Tableau 6. Nombre de ménages résidant à l'intérieur des surfaces d'accessibilité de trois centres commerciaux

	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Ménage</i>	<i>%</i>	<i>Population</i>	<i>%</i>	<i>Ménage/ Superficie</i>	<i>Population/ Superficie</i>
Fairview	16.385	9 801	11%	26 049	17%	598	1590
Anjou	9.402	23 615	26%	49 391	32%	2512	5253
Eaton	14.759	58 536	64%	97 864	64%	3966	6631
Total	40.546	91 952	100%	153 316	100%	2268	3781

Utilisant une méthodologie distincte, il est possible d'obtenir ces mêmes surfaces pour l'automobile, le vélo et la marche, via le calculateur de trajet Google. De cette manière, la superficie accessible à partir d'un point pour différents modes peut être comparée.

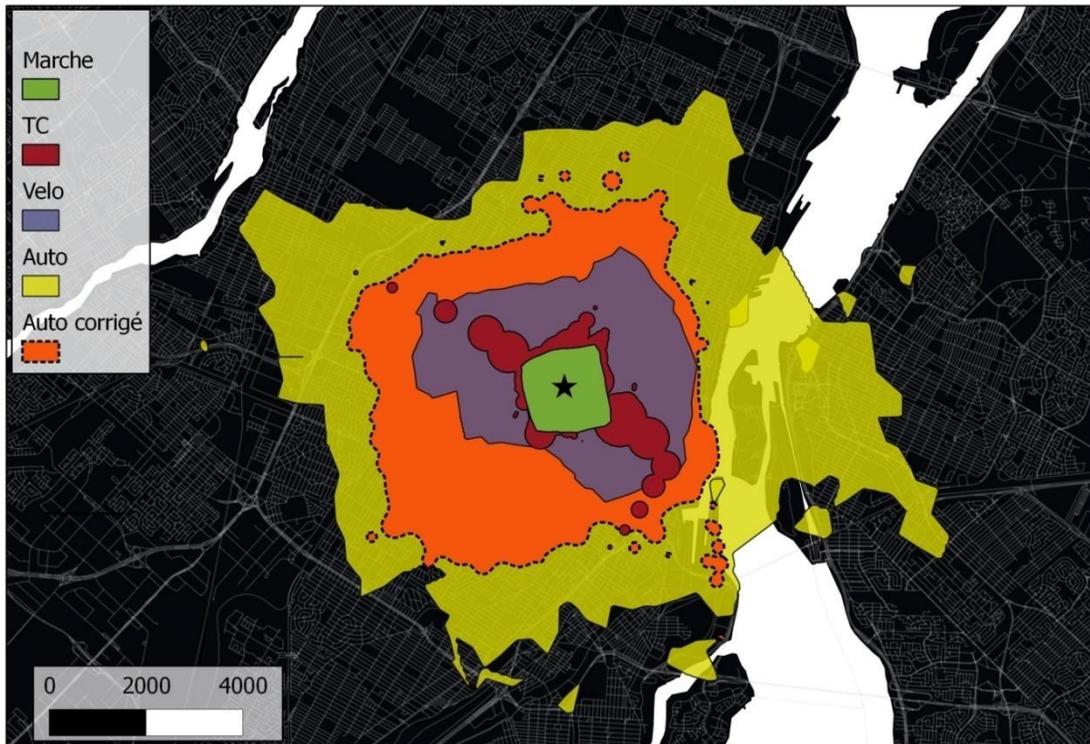


École Polytechnique de Montréal, décembre 2011
Audrey Godin

Superficie d'accès pour 15 minutes de trajet

Figure 31. Illustration de superficies accessibles pour trois différents modes de transport

Les résultats du calculateur de chemin Google ne considèrent pas la présence de congestion. Une expérience est menée actuellement pour valider les temps de parcours de Google et observer les effets de la congestion sur le réseau. Les données GPS du mois d'août des véhicules Communauto ont été utilisées pour ajuster les temps de parcours calculés précédemment par le calculateur de trajet Google. Les résultats sont présentés à la figure suivante.



École Polytechnique de Montréal, janvier 2012
Audrey Godin

Superficie d'accès pour 15 minutes de trajet

Figure 32. Illustration de la modification de superficie accessible par l'auto en tenant compte de temps de parcours corrigés

Tableau 7. Superficies accessibles avec différents modes de transport: exemple

Mode	Superficie (km ²)	Ratio Mode / Auto
Marche	2.75	0.03
Velo	20.02	0.20
TC	6.86	0.07
Auto	101.24	1.00
Auto - corr	44.39	0.44

3.4.5 Conclusion

Cette recherche propose une nouvelle typologie d'indicateurs et une actualisation des indicateurs d'accessibilité en tenant compte des nouvelles ressources disponibles (données et outils). Les perspectives sont multiples, en voici quelques-unes :

- Améliorer les outils créés pour faciliter la génération d'indicateurs.
- Examine l'opportunité d'utiliser ces indicateurs et méthodes pour faire l'étude de générateurs.
- Utiliser l'enquête OD pour créer des indicateurs d'accessibilité de type prismes espaces-temps

3.5 Mieux comprendre les déterminants du choix modal et le marché potentiel des différents modes

- Étudiant : Éric Martel-Poliquin (maîtrise)
- Supervision : Morency et Agard
- État : en cours (fin prévue : juin 2012)
- Financement : Chaire Mobilité

3.5.1 Introduction

Le choix modal se situe au cœur de nombreuses problématiques concernant le développement durable. En effet, chaque mode de transport aura des effets différents sur chacune des sphères du développement durable telles que : la congestion routière, la pollution atmosphérique, les émissions de gaz à effet de serre, le niveau d'activité physique, les investissements dans les infrastructures publiques et les dépenses en transport par les ménages. Il appert donc important d'avoir une meilleure compréhension des facteurs influençant le choix d'un mode de transport afin de mieux comprendre les choix effectués actuellement, et de mieux prévoir les choix qui seront effectués dans les années futures.

3.5.2 Problématique

Les variables expliquant le choix modal sont amplement étudiées; la plupart des modèles décrivent la probabilité qu'un automobiliste utilise le transport en commun plutôt que sa voiture ou une combinaison des deux modes. Bien que ces modèles soient grandement évolués et soient basés sur des méthodes reconnues, ils ne répondent pas nécessairement aux récentes préoccupations d'atteinte d'une mobilité plus durable. En effet, ces modèles ne prennent normalement pas compte des modes actifs ou partagés. Il sera donc ici question de tenter de considérer tous les modes dans une perspective de modélisation du choix modal.

Un autre aspect qui se veut mis de l'avant dans cette étude est l'utilisation de variables évaluées à l'échelle du voisinage des ménages. Ceci se représente plus concrètement, par exemple, par une zone tampon autour du ménage. L'avantage de ce niveau de résolution est qu'il permet de mesurer de manière assez précise des paramètres qui affectent des modes plus sensibles quant à leur utilisation. Pour illustrer cette notion de sensibilité, un détour de 500 m sera davantage un inconvénient pour un piéton que pour un automobiliste. Un autre avantage de cette méthode est qu'elle n'amène pas de problèmes d'effet frontière que l'on peut rencontrer avec des variables estimées par secteur. Finalement, comme un ensemble de variables est évalué pour tous les ménages au même niveau de résolution, on peut envisager créer une typologie des ménages basée sur ces variables et ainsi, créer de nouvelles « frontières » qui seraient basées sur des propriétés ayant un effet sur le choix modal et qui sont propres à un ensemble de ménages qualifiés d'homogènes. Ceci contraste avec une méthodologie par secteur dont les frontières sont souvent de nature politique et non analytique.

Enfin, la notion de coût de déplacement, la plus fréquemment utilisée dans les modèles de choix modal, s'applique mal à une stratégie de mobilité durable, d'autant plus si tous les modes sont considérés. En effet, la notion de coût de transport, très utile dans la planification de grandes infrastructures de transport, n'est pas nécessairement la plus appropriée pour les modes actifs, notamment étant donné leur faible vitesse. De plus, le concept de mobilité durable se veut être une perspective différente sur la mobilité qui intègre les notions d'environnement, de société (incluant



la santé humaine) et d'économie. Les évaluations actuelles de la valeur du temps de transport ne laissent que peu de place aux impacts bénéfiques sur la santé et sur l'environnement qu'ont les modes actifs. Ainsi, pour traiter directement cette difficulté, cette recherche prend comme base d'analyse principale (variable-clé) la distance du déplacement. Cette dernière a l'avantage d'être neutre et impartiale quant à la quantification du « coût » du déplacement à effectuer mais ne permet cependant pas de tenir compte, par exemple, de la congestion ou de l'efficacité du réseau de transport en commun.

3.5.3 Le marché actuel des modes de transport

Les choix modaux observés dans l'enquête Origine-Destination de 2008 pour Montréal ont été mis en relation avec un ensemble de variables reconnues comme ayant une influence sur le choix modal. Ces mises en relation sont effectuées afin d'illustrer l'ampleur de la corrélation entre ces variables et le choix modal. Une fois ces corrélations relevées, une typologie de ménages est créée sur la base de ces variables. Enfin un arbre de décision est construit, ce qui permet de hiérarchiser les variables entre elles et ainsi de modéliser le choix modal sous formes de règles d'attributions modales.

Estimation de variables ayant un impact sur le choix modal

Un ensemble de variables a été estimé ou tiré directement de l'Enquête Origine-Destination de 2008. Le Tableau 8 indique la liste de toutes les variables estimées ainsi que leur source et la méthode d'estimation utilisée soit, extraite de l'Enquête O-D, estimée ou estimée à l'échelle du voisinage des ménages. Ces variables sont classées dans 4 catégories soit les variables de la personne, du ménage, du milieu bâti et des déplacements.

Tableau 8. Variables extraites et estimées

Variable	Source			Méthode		
	EOD08	Recense-ment06	GTFIS	Extraite	Estimée	Voisinage
Personnes						
Âge	✓			✓		
Sexe	✓			✓		
Statut	✓			✓		
Ménage						
Taille	✓			✓		
Revenu	✓			✓		
Accès à l'automobile	✓				✓	
Milieu bâti						
Densité de population	✓				✓	✓
Densité d'emplois	✓				✓	✓
Densité commerciale	✓				✓	✓
Ratio population/emploi	✓				✓	✓
Longueur du réseau routier		✓			✓	✓
Matrice des parts modales du TC	✓				✓	
Passages-arrêts cumulés sur 24h	✓		✓		✓	✓
Déplacements						
Motif	✓			✓		
Distance	✓				✓	
Chaînage complexe	✓				✓	

Observation des corrélations des variables estimées sur le choix modal

Les résultats de l'extraction et l'estimation des variables sont décrits d'une part par leur distribution et d'autre part, pour les variables estimées au niveau du voisinage des domiciles, selon leur dispersion spatiale. Par exemple, la Figure 33 montre la dispersion spatiale de la variable « nombre de passages-arrêts TC sur 24h ».

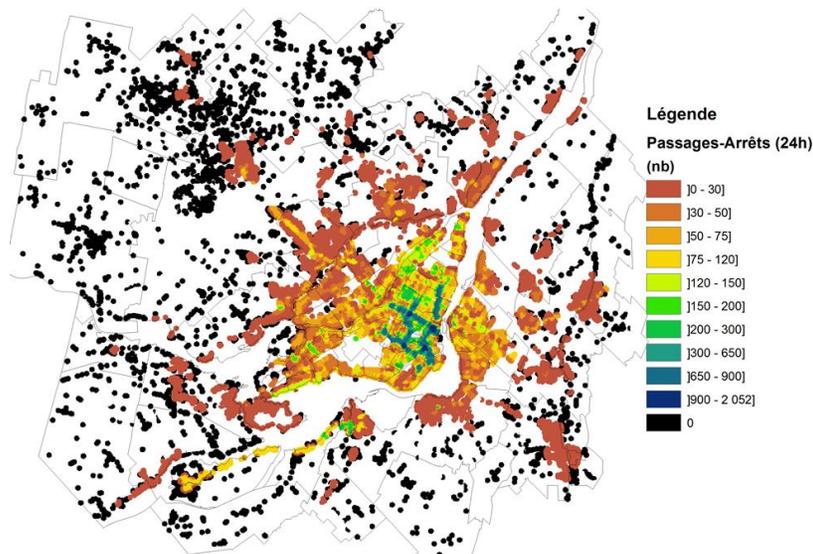


Figure 33. Nombre de passages-arrêts de transport en commun cumulé sur 24h

Chacune de ces variables est ensuite mise en relation avec le choix modal observé afin d'observer les corrélations existantes. En suivant encore l'exemple du nombre de passages-arrêts, la Figure 34 montre la relation entre cette variable et le choix modal.

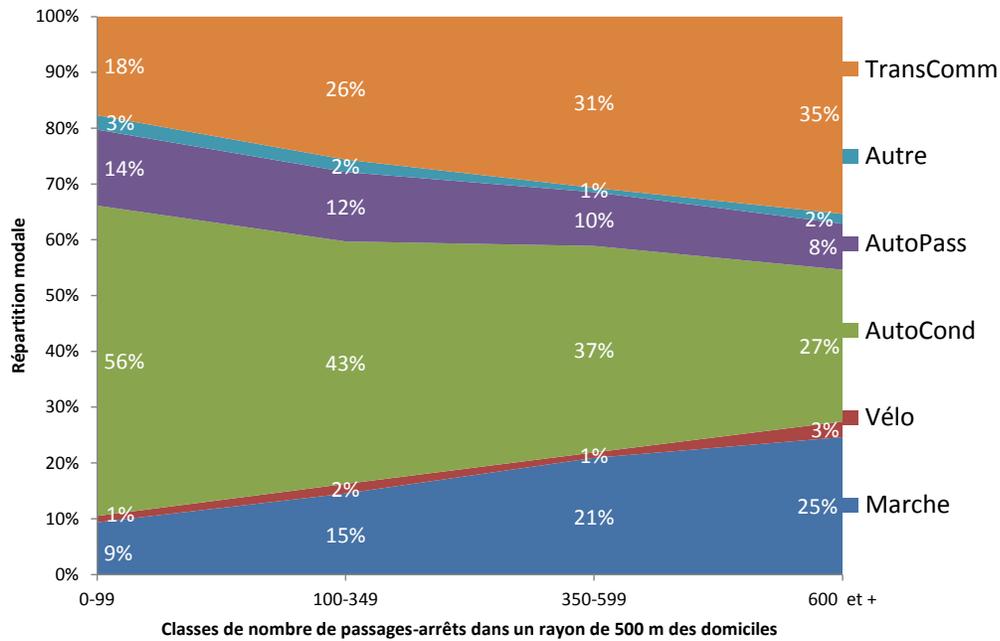


Figure 34. Corrélation entre le nombre de passages-arrêts et le choix modal

On y remarque qu’une augmentation du nombre de passages-arrêts sur 24h est associée avec une diminution de la part modale de l’automobile et une augmentation de la part modale des modes actifs et collectifs.

Ces observations permettent de mieux comprendre les tendances liées à ces variables sans toutefois nous informer sur l’intensité de cette relation.

Création d’une typologie de ménages

Sur la base des variables précédemment estimées à l’échelle du quartier, une typologie de ménages est développée. Un algorithme de groupement (k-moyens) est utilisé à cette fin. Les résultats actuels montrent l’existence de 3 types de ménages pour la grande région de Montréal. Ces trois groupes sont créés par l’algorithme selon une règle faisant que chaque groupe est 1) le plus homogène possible et 2) le plus différent possible des autres groupes. La Figure 35 illustre une première itération de typologie de ménages montrant trois groupes (clusters) caractérisés par une tendance spatiale centrée sur le centre-ville sans équivoque et une répartition modale beaucoup plus centrée autour du TC et à de la marche pour les types de ménages plus centraux.

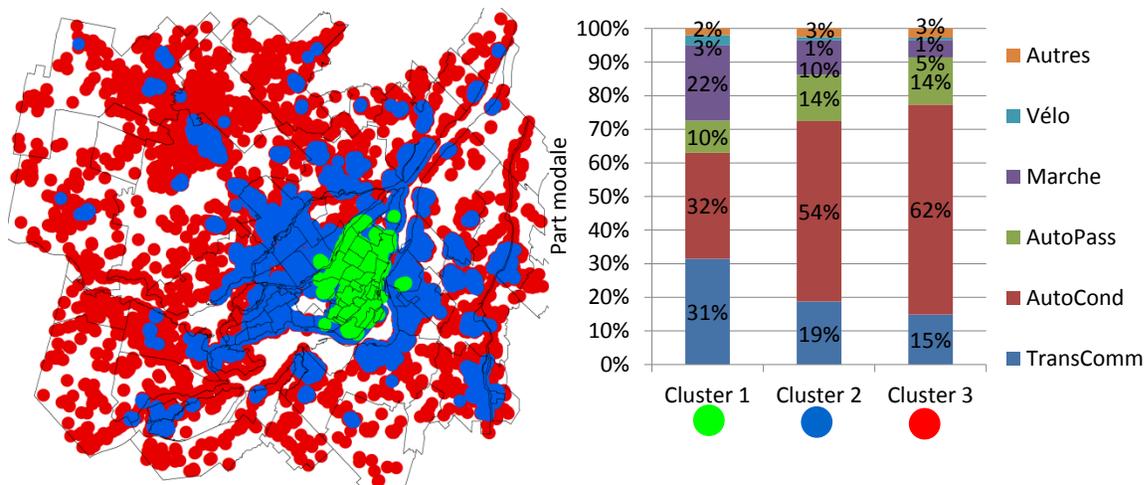


Figure 35. Localisation géographique et part modale des types de ménages

Cependant, il faudra tenter de créer davantage de groupes afin d'obtenir une plus grande variété de types de ménages, ou à tout le moins, justifier le choix de trois types effectué dans la première itération.

Modélisation du choix modal en utilisant des arbres de décision

En utilisant les variables estimées et extraites, un algorithme sera utilisé afin de créer un arbre de décision qui représentera la hiérarchisation des variables ayant un impact sur le choix modal. Ceci se représente sous un ensemble de règles qui mènent à un choix final d'un mode avec la meilleure probabilité possible. Ceci est effectué pour trois grands groupes de personnes en se basant sur leur statut, soit les travailleurs, les étudiants et les autres. Par exemple, pour une personne de 20 à 24 ans ayant un statut d'étudiant:

SI 'Distance' < 1950 m
 ET QUE 'Cohorte' = 20-24 ans
 ALORS 'Mode' = Marche (pour 76% des 5477 observations)

SI 'Distance' ≥ 1950 m
 ET QUE 'Cohorte' = 20-24 ans
 ET QUE 'Densité de population' < 4275 h./km²
 ALORS 'Mode' = AutoCond (pour 44% des 34791 observations)

ET QUE 'Densité de population' ≥ 4275 h./km²
 ALORS 'Mode' = TransComm (pour 66% des 30461 observations)

Cependant, la forme usuelle des résultats ne facilite pas leur compréhension et permet surtout mal d'identifier rapidement l'importance des branches et des choix dominants. Une forme graphique des résultats a été développée afin de faciliter l'interprétation des résultats et est présentée à la Figure 36.

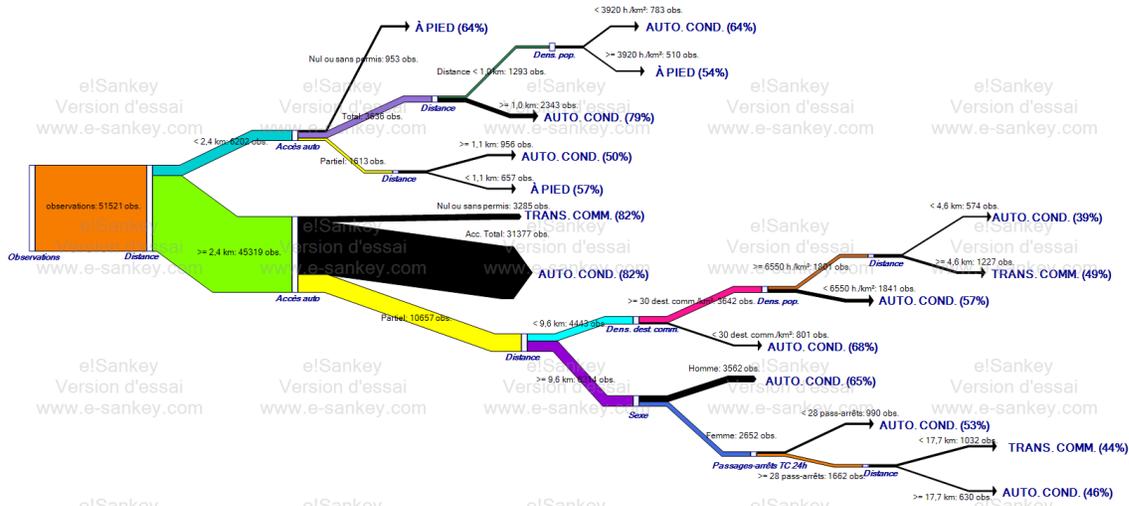


Figure 36. Diagramme de visualisation d'un arbre de décision (personne de 20 à 24 ans ayant un statut d'étudiant)

3.5.4 Le marché potentiel des modes

La distance comme variable-clé

La méthode des arbres de décision a montré que la distance se distingue comme variable la plus significative lors de l'explication du choix d'un mode de transport. En analysant la relation entre la distance et le choix modal, montré à la Figure 37, on remarque que selon la distance, différents modes auront primauté sur les autres.

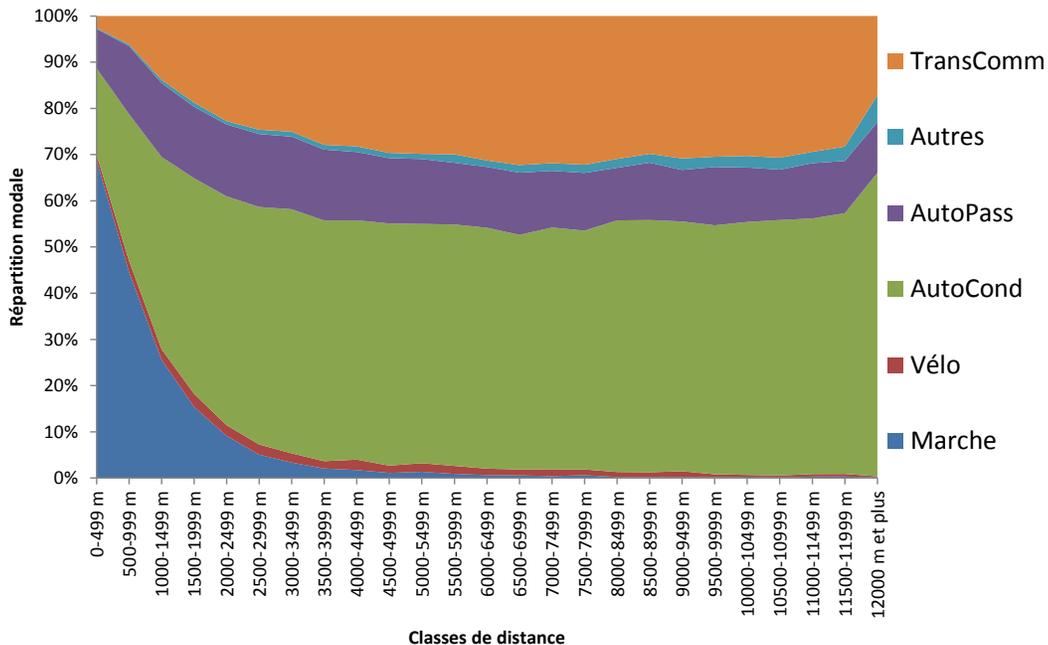


Figure 37. Relation entre la distance et le choix modal

On voit, par exemple, que pour de courtes distances, la marche est grandement utilisée. Et considérant qu'une proportion très importante des déplacements quotidiens s'effectuent sur de courtes distances, on peut envisager que la marche a un potentiel considérable. Mais jusqu'à quelle distance s'arrête le potentiel de la marche?

Le concept de distance-seuil et l'évolution de l'univers de choix modal

Nous posons l'hypothèse que le seuil de compétitivité est établi selon une « distance-seuil ». Celle-ci représente la distance en-deçà de laquelle 80% des déplacements sont effectués, pour un mode donné et un segment de population donné. Cette distance seuil a été calculée pour plusieurs segments de population basés sur l'âge et le sexe, et ce, pour tous les modes. Une typologie est ensuite créée selon une méthode de groupement (k-moyens) pour agréger les segments ayant un comportement similaire, tel que montré à la Figure 38.

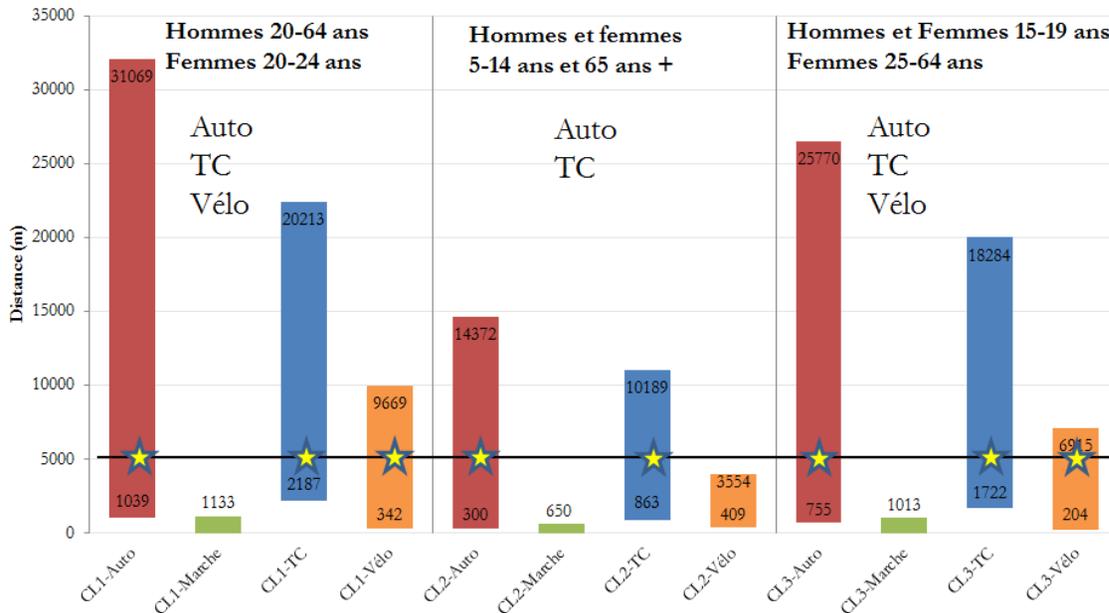


Figure 38. Univers de choix basés sur les distances-seuils de divers segments de population agrégés en 3 groupes (couleurs : Rouge : auto conducteur, Vert : marche, Bleu : Transport en commun et Orange : Vélo)

On voit donc que selon le segment de population (cluster, groupe), l'univers de choix (indiqué par des étoiles) est différent. Pour un même déplacement de 5 km les groupes 1 et 3 auraient, dans leur univers, l'auto le TC et le vélo, alors que le groupe 2 n'aurait que l'auto et le TC. Dans une perspective de modélisation du choix modal, on pourrait utiliser une telle définition de l'univers de choix qui s'adapte à chaque individu afin de mieux considérer chacun des modes, de même que les propriétés de la personne.

Le potentiel de la marche

Une autre application du concept de distance seuil consiste à l'utiliser pour définir ce qu'est un déplacement « court », et potentiellement « marchable ». Pour ce faire, chaque déplacement de l'Enquête O-D est analysé pour voir s'il est de distance inférieure à la distance-seuil de la marche pour la personne ayant effectué ce déplacement. De ces déplacements, on isole ceux ayant été faits par un mode motorisé et on valide que ce déplacement est bel et bien transférable vers le mode marche, en omettant les déplacements faisant partie de chaînes trop longues. On en retire qu'environ 8% de tous les déplacements dans la grande région de Montréal pourraient être effectués à pied plutôt que par un mode motorisé, ce qui a bien sûr un impact sur la santé, l'environnement et la congestion.



3.5.5 Perspectives de recherche

Cette étude ouvre la porte à de nombreuses perspectives de recherche que ce soit afin de raffiner les travaux effectués, les compléter ou les pousser plus loin. Notamment :

- (1) L'utilisation de Google Maps afin d'obtenir une modélisation plus précise des distances parcourues pour les observations de l'enquête O-D et ce, selon le réseau inhérent à chaque mode (TC, auto, vélo, marche).
- (2) L'utilisation de bases de données externes afin de mieux estimer la variable emplois et commerces.
- (3) Une mesure de la distance fractale du réseau routier dans le voisinage des ménages afin de déterminer si cette variable est corrélée avec le choix modal.
- (4) Une mise à profit du fichier de correspondance point-à-point calculé dans cette analyse. Celui-ci valide pour chaque déplacement de l'enquête OD si un autre déplacement a une origine et une destination spatio-temporelle correspondante (ex. : deux personnes partent de deux points espacés de 500 m ou moins dans un intervalle de moins de 30 min et se déplacent vers deux origines espacées de moins de 500 m). Cette base de données pourrait être utile à l'étude du potentiel du covoiturage.
- (5) Un modèle de régression expliquant le choix modal en deux étapes, qui considère en premier lieu, l'univers de choix de la personne et en second lieu, son choix modal basé sur des variables ayant une influence sur le choix modal.



3.6 Analyse des stationnements en milieu urbain

- Étudiant : Abdoulaye Diallo (maîtrise)
- Supervision : Morency et Saunier
- État : en cours (fin prévue : juin 2012)
- Financement : Chaire Mobilité

3.6.1 Objectifs

Ce projet de recherche vise à développer une méthodologie d'analyse des stationnements, afin d'évaluer les impacts de certaines interventions, au niveau du stationnement, sur la gestion des transports et des villes.

Pour ce faire, il a été nécessaire de trouver des façons de mieux comprendre et de bien maîtriser ce phénomène qu'est le stationnement.

Il faut donc, entre autres :

- Proposer une méthodologie d'estimation des capacités de stationnement des quartiers et leur variabilité lors d'une journée et une semaine type de déplacement.
- Proposer une méthodologie de validation des capacités dérivées des enquêtes origine-destination par le biais d'outils S.I.G. et d'autres méthodes de collecte de données.
- Étudier des comportements d'utilisation des espaces de stationnement par les voyageurs pour différentes activités et leur évolution dans le temps.

3.6.2 Contexte

Ce projet de recherche est fait en continuité avec des études préliminaires préalablement faites à Montréal (Morency, Saubion, & Trépanier, 2006). Ces études ont servi de tremplin pour le travail d'interprétation des données acquises grâce aux enquêtes origine-destination tenues à Montréal et autres données obtenues de certaines municipalités de l'agglomération montréalaise, ainsi que de quelques partenaires.

Bien qu'il s'appuie sur une revue de littérature couvrant des recherches dans plusieurs endroits autour du monde, ce travail de recherche est effectué principalement dans un contexte montréalais. Toutefois, il est mené pour que les résultats puissent être généralisables.

3.6.3 Méthodologie générale

La démarche dans ce travail de recherche associe plusieurs méthodes, dont certaines sont inspirées par des méthodes traditionnelles bien connues et présentées dans le chapitre précédent (méthodes de relevé de terrain, méthode d'opération de calculs, dimensions conventionnelles, etc.), alors que d'autres font usage d'outils plus récents (Google Street View, OpenStreetMap, et autres sources publiques d'informations géographiques).

Elle se subdivise en 4 étapes principales :

- La première étape consiste à déterminer, à partir des données d'enquêtes origine-destination, le profil d'accumulation des véhicules et les capacités théoriques de stationnement pour un arrondissement de Montréal, qui est choisi pour fins de démonstration ;

- La seconde consiste à déterminer la capacité brute et la capacité réelle de stationnement dans la zone échantillon en faisant des relevés de terrain ;
- La troisième étape consiste à comparer les données obtenues dans les deux premières étapes, afin de déterminer l'écart entre la capacité réelle de stationnement et la capacité théorique de stationnement ;
- La quatrième étape consiste à analyser les résultats obtenus à la troisième étape, si elles sont favorables, à appliquer la méthode de détermination des capacités théoriques à l'ensemble des arrondissements, sinon, proposer une solution alternative à la méthode.

La figure qui suit résume le processus de validation des estimations de capacités de stationnement obtenues des enquêtes Origine-Destination.

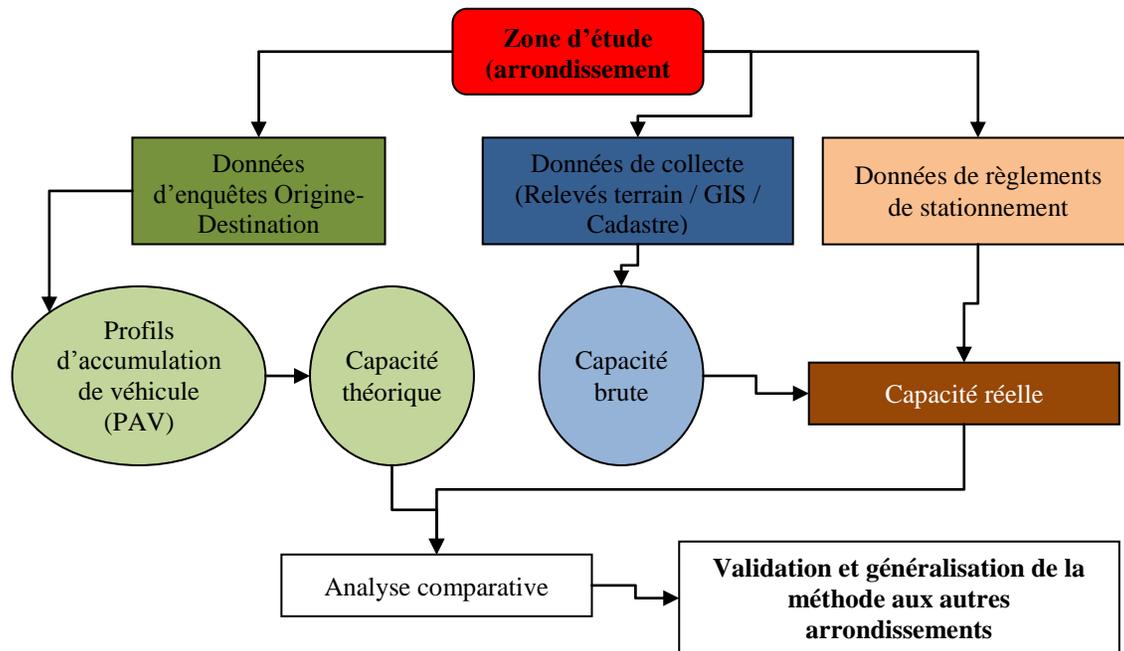


Figure 39. Processus de validation des estimations de capacités de stationnement obtenues des enquêtes Origine-Destination

3.6.4 Profils d'accumulation de véhicules et capacité théorique

La détermination du profil d'accumulation de véhicules suit le principe introduit par Morency et al (Morency, et al., 2006). Il s'agit de déterminer, pour un intervalle de temps donné¹, la quantité de véhicules en stationnement dans un territoire donné (dans notre cas, un arrondissement). L'accumulation des véhicules dans un arrondissement suit un principe d'arrivées et de départs des véhicules. Ainsi, à partir des données d'enquêtes origine-destination, il est possible de déterminer le profil d'accumulation de véhicules par type de stationnement, par motifs de déplacement et par région d'origine du déplacement (ou encore par région de domicile de celui qui effectue le déplacement) pour une journée ou une semaine typique.

¹ Le profil d'accumulation des véhicules calculé dans ce travail de recherche se fait à intervalle de 15 minutes.

Capacité théorique en espace de stationnement (CTS)

La capacité théorique de stationnement est déduite à partir de la courbe du profil d'accumulation. Elle constitue, pour une unité de temps donnée, l'accumulation maximale de véhicules. En fait, elle représente la demande maximale en stationnement pour une unité de temps donnée. Lorsque cette capacité est considérée pour une heure déterminée, elle devient l'accumulation maximale horaire (AMH).

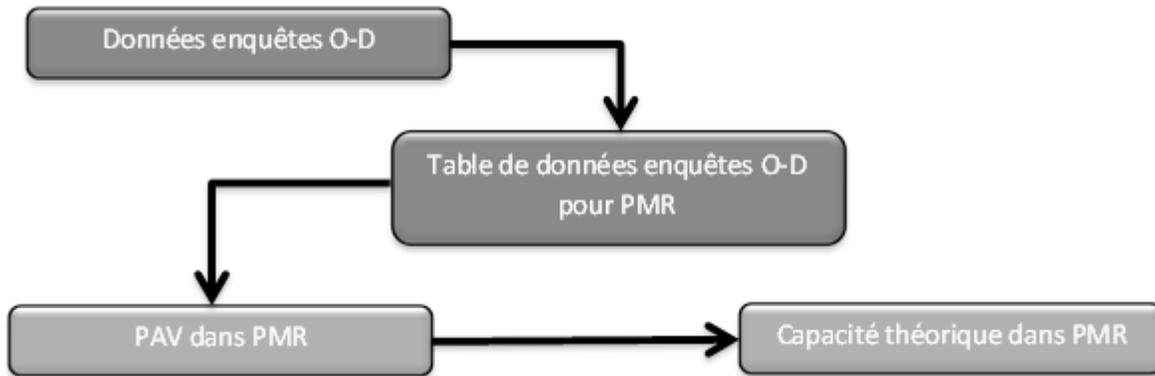


Figure 40. Processus de détermination du PAV et des Capacités théoriques

3.6.5 Processus de validation des capacités

La méthode de validation des capacités théoriques consiste à relever les offres et demandes de stationnement dans un arrondissement, afin de les comparer aux données de capacités théoriques. A cause de l'étendue du territoire, un petit secteur de l'arrondissement Plateau Mont-Royal est pris comme échantillon, pour illustrer notre approche.

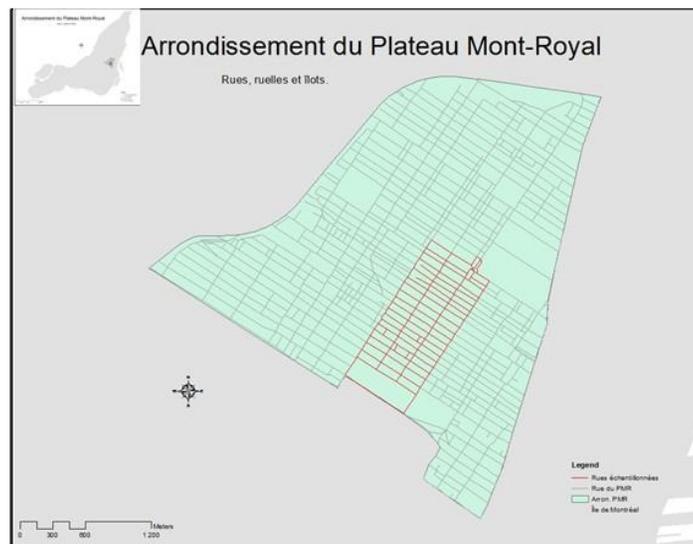


Figure 41. Le secteur (en rouge) servant d'échantillon au processus de validation des capacités

Le quadrilatère pris en échantillon est compris entre l'avenue du parc à l'ouest, l'avenue du parc de Lafontaine à l'est, l'avenue du Mont-Royal au nord et la rue Duluth au sud (les espaces de stationnement ne seront pas comptés sur les avenues du Parc et du Mont-Royal, ainsi que sur le côté est de l'avenue du parc de Lafontaine). Ce quadrilatère a été choisi, car il comporte une mixité au niveau du zonage ainsi que des types de rues avec plusieurs ruelles.



Pour valider les capacités théoriques de stationnement obtenues à partir des données d'enquêtes, deux méthodes de collecte de données ont été mises à contribution. La première des deux méthodes utilise un moyen de collecte classique, qui consiste à se rendre physiquement sur le terrain afin de recueillir des données. La seconde fait usage des nouveaux outils informatiques (*Google Map*, *Google Earth* et *Google street View*), pour procéder à la collecte de données.

Méthode de collecte par relevé sur le terrain

La méthode de collecte par relevé de terrain mené dans ce travail a consisté à faire des sorties sur le terrain (dans le secteur retenu), pour un relevé exhaustif des données liées au calcul de la capacité de stationnement.

Les collectes de données par relevé sur le terrain sont faites à deux niveaux : au niveau des stationnements sur rues et au niveau des stationnements hors-rues.

Méthode de collecte par système d'information géographique (SIG)

Cette méthode ne nécessite pas une sortie sur le terrain, elle consiste à utiliser des outils d'informations géographiques pour procéder à la collecte. Les avancées récentes dans le monde de la technologie de l'information géographique ont permis de mettre à la disposition du grand public des outils de plus en plus fiables.

La méthode de collecte par les SIG consiste à parcourir (de façon virtuelle, grâce à *Google Earth* et ses compléments) chaque rue, ruelle et autres espaces possibles de stationnement afin de relever toute donnée en relation au calcul de l'offre de stationnement. Comme dans la méthode de collecte par relevé sur le terrain, décrite précédemment, elle se fait à deux niveaux : le stationnement sur rue et le stationnement hors rue.

Détermination de la capacité à partir des données recueillies

Détermination de la capacité brute

La capacité brute de stationnement est la capacité de stationnement possible lorsque les règlementations de stationnements ne sont pas tenues en compte.

Comme lors de la collecte de données, la détermination des capacités se fait à deux niveaux : au niveau des stationnements sur rues et au niveau des stationnements hors-rues.

Au niveau des stationnements sur rues, la capacité est déterminée en calculant le nombre de places de stationnement pour chaque tronçon.

Le nombre de places est déterminé en divisant la longueur de tronçon où le stationnement est possible par la longueur moyenne d'une automobile. La formule suivante représente ce rapport :

$$NbPlaces = \frac{L - [(b * 5) + (e * 3) + (Tc * 15) + (i * 7)]}{a}$$

- Où :
- L est la longueur du tronçon de rue (m)
- b est le nombre de borne-fontaine
- e est le nombre d'entrées charretières
- Tc est le nombre d'arrêts d'autobus



- i est le nombre d'espaces où il y a une interdiction stricte de stationnement
- a est l'espace (linéaire) moyen qu'occupe une automobile en stationnement (m)²

Les constantes utilisées dans cette formule sont des longueurs de rues perdues par la présence des chaque équipement permanent. Ainsi, chaque borne, entrée charretière, arrêt d'autobus et interdiction stricte de stationnement réduit, respectivement, de 5 mètres, 3 mètres, 15 mètres et 7 mètres les longueurs de rues aptes au stationnement. Toutefois, ces constantes peuvent varier selon les recommandations en vigueur. L'expérience sur le terrain peut permettre des ajustements plus réalistes. Par exemple, l'article 386 du code de la sécurité routière du Québec interdit de stationner à moins de 5 mètres d'une borne-fontaine (Gouvernement du Québec). Cela confère donc un diamètre de 10 mètres à laisser autour de chaque borne-fontaine. Mais en observant sur le terrain, il s'avère que cette consigne n'est pas respectée et que les distances entre les véhicules et les bornes sont en moyenne de 2,5 mètres, d'où $b*5$ dans la formule.

Au niveau des stationnements hors-rues, la superficie du stationnement (excluant les allées de circulation) est divisée par l'espace que nécessite un véhicule pour son stationnement et ses manœuvres de stationnements³.

La formule suivante représente ce rapport pour les stationnements dont les allées ont les mêmes dimensions :

$$NbPlace = \frac{S - [x(L * l)]}{a + \lambda}$$

Pour les stationnements hors-rues dont les allées n'ont pas les mêmes dimensions, nous aurons :

$$NbPlace = \frac{S - [\sum_{i=1}^n (L * l)]}{a + \lambda}$$

Où :

- S est la superficie du stationnement (m²)
- x est le nombre d'allées
- L est longueur des allées (m)
- l est la largeur des allées (m)
- a est la surface qu'occupe une automobile en stationnement (m²)
- λ est l'espace nécessaire autour du véhicule pour les manœuvres de stationnement

L'offre réelle de stationnement

La capacité réelle de stationnement peut être obtenue en combinant la capacité brute aux données de règlementations. En tant qu'outil permettant de régir ce qui est en rapport avec les espaces de

² a peut équivaleoir à 7, à 4 ou à 3 mètres selon que le mode de stationnement soit en parallèle, à 45° (ou 60°) ou à 90° par rapport au trottoir

³ Cet espace prévoit l'ouverture des portes et des espaces de circulation sur au moins trois côtés autour des véhicules stationnés.

stationnements (la gestion de demande, les travaux d'entretien de la voirie, etc.), les données de règlementations contribuent presque toujours à la baisse de la capacité brute de stationnement.

3.6.6 Résultats: démonstrations

Différentes analyses liées aux capacités estimées en espaces de stationnement sont présentées dans le mémoire. Quelques exemples sont présentés ci-dessous.

- La Figure 42 présente le profil d'accumulation de véhicules des résidents du Plateau Mont-Royal. Le graphique contient d'une part les véhicules possédés par les ménages qui résident dans le quartier mais qui n'ont pas bougé et d'autre part le mouvement des véhicules qui ont été utilisés au moins une fois lors de la journée d'enquête. On observe que le nombre de véhicules des résidents qui sont effectivement localisés dans le secteur diminue pendant la journée.
- La Figure 43 présente le profil d'accumulation des véhicules qui se destinent dans l'arrondissement (excluant les véhicules des résidents) pendant un jour type de semaine d'automne. On observe un maximum de véhicules simultanément localisés dans l'arrondissement autour de 15h00. La figure permet aussi d'observer les quantités de véhicules stationnés dans le quartier en fonction du type d'espace de stationnement utilisé.

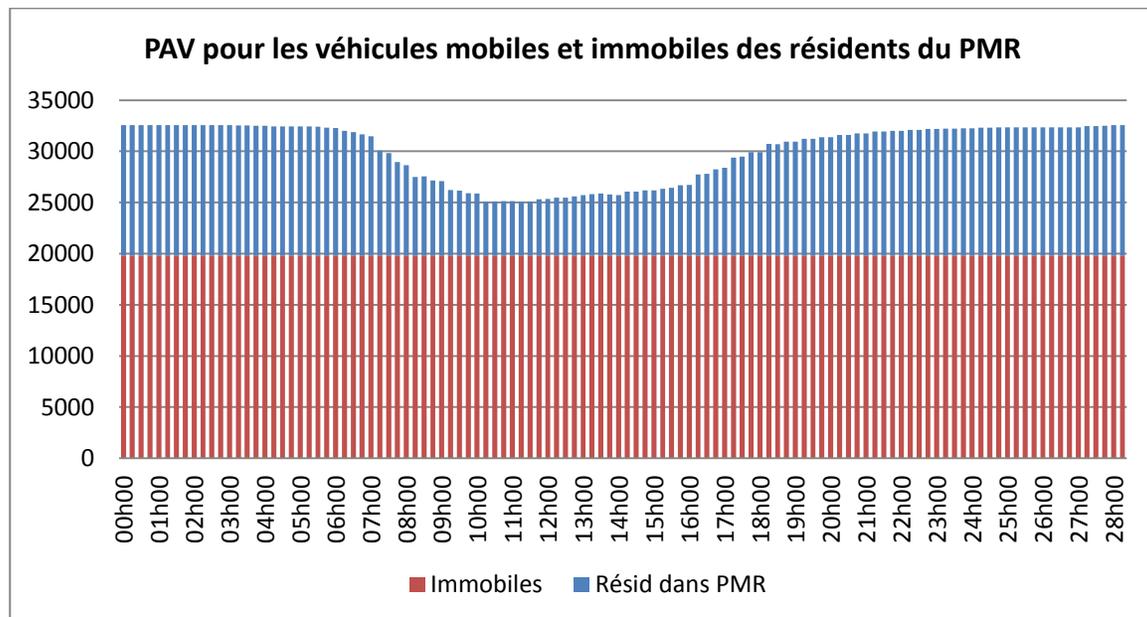


Figure 42. PAV des résidents du PMR selon qu'ils aient été mobiles ou immobiles

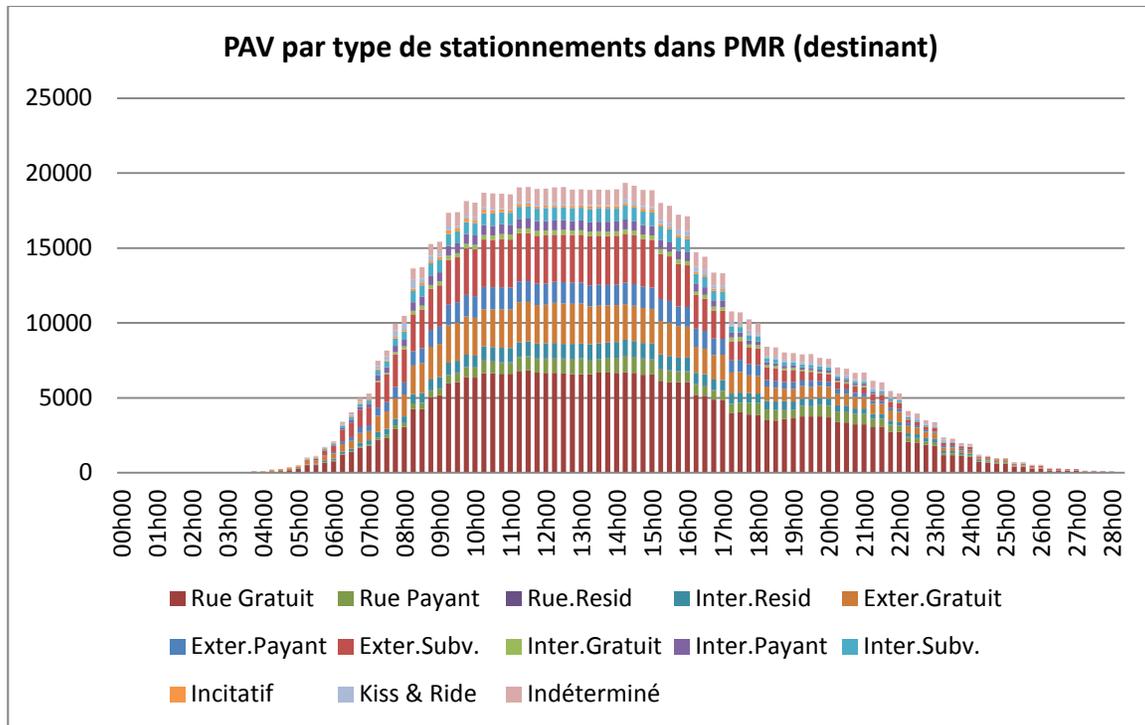


Figure 43. PAV des non-résidents par type de stationnement dans l'arrondissement PMR

Ces deux figures rassemblent les informations nécessaires pour estimer une capacité théorique de stationnement dans l'arrondissement (cumul des deux analyses : résidents + destinant). Ces capacités théoriques sont confrontées aux estimations faites à partir de relevés divers. En guise de démonstration des difficultés de validation des estimations, liées notamment aux modifications importantes découlant de la réglementation de stationnement, une rue a été examinée plus en détails.

Pour cet exemple, nous avons retenu l'avenue de l'Esplanade entre les avenues Duluth et du Mont-Royal. Cette avenue se situe dans l'arrondissement du Plateau Mont-Royal et fait également partir des rues qui constituent notre zone d'étude. Cette portion de rue a été retenue, car le seul type de stationnement qui peut y être associé est le stationnement sur rue (hors mis les stationnements sur rues, seulement trois stationnements hors-rues résidentiels y sont possible).

Notre portion de rue a une longueur d'environ 635 mètres divisée en trois tronçons, qui sont :

- **le tronçon 1** : est compris entre l'avenue Duluth et la rue Rachel, ce tronçon mesure environ 215 mètres, il permet une circulation à sens unique vers le sud. Il offre des espaces de stationnements sur les deux côtés.
- **le tronçon 2** : est compris entre les rues Rachel et Marie-Anne, il mesure environ 210 mètres. Il est à sens unique vers le nord et offre des stationnements sur les deux côtés.
- **le tronçon 3** : est la portion de rue comprise entre la rue Marie-Anne et l'avenue du Mont-Royal, il mesure environ 210 mètres, il est également à sens unique vers le nord, il offre des espaces de stationnement sur les deux côtés.



Figure 44. Présentation de la rue échantillon et des tronçons qui la compose

Pour représenter les variations de capacités induites par les changements de règlementation sur notre portion de rue, nous avons procédé à une combinaison entre les données permettant de déterminer les capacités brutes et les données de règlementation.

En général, les règlements de stationnement varient selon les heures, selon les jours types et selon les saisons. Pour notre portion de rue, si l'on faisait des groupes sur la base de l'uniformité des règlements de stationnement, qui s'appliquent selon les jours, nous aurions trois groupes de jours : les lundis, mardis et jeudis formeront un groupe tandis que les mercredis et les vendredis représenteront chacun un groupe. Tandis que si l'on applique la même chose pour les heures afin de faire des blocs d'heures, nous aurons cinq blocs pour le tronçon 1 et le tronçon 2 et six blocs pour le tronçon 3.

La collecte de données sur notre rue échantillon a permis de relever les variations de capacités selon les jours et selon les heures pour chaque portion de rue, permettant ainsi de dresser les portraits suivants :

- **Le tronçon 1** (voir Figure 45) : ce tronçon a une capacité brute de 74 espaces de stationnements, dont 37 espaces réservés résidents, tous les jours entre 9 heures et 23 heures. Les espaces non-réservés disponibles sont également au nombre de 37, tous les jours entre 9 heures à 23 heures sauf les mercredis et les vendredis entre midi et 13 heures où les espaces non-réservés disponibles sont respectivement de 27 et de 10.

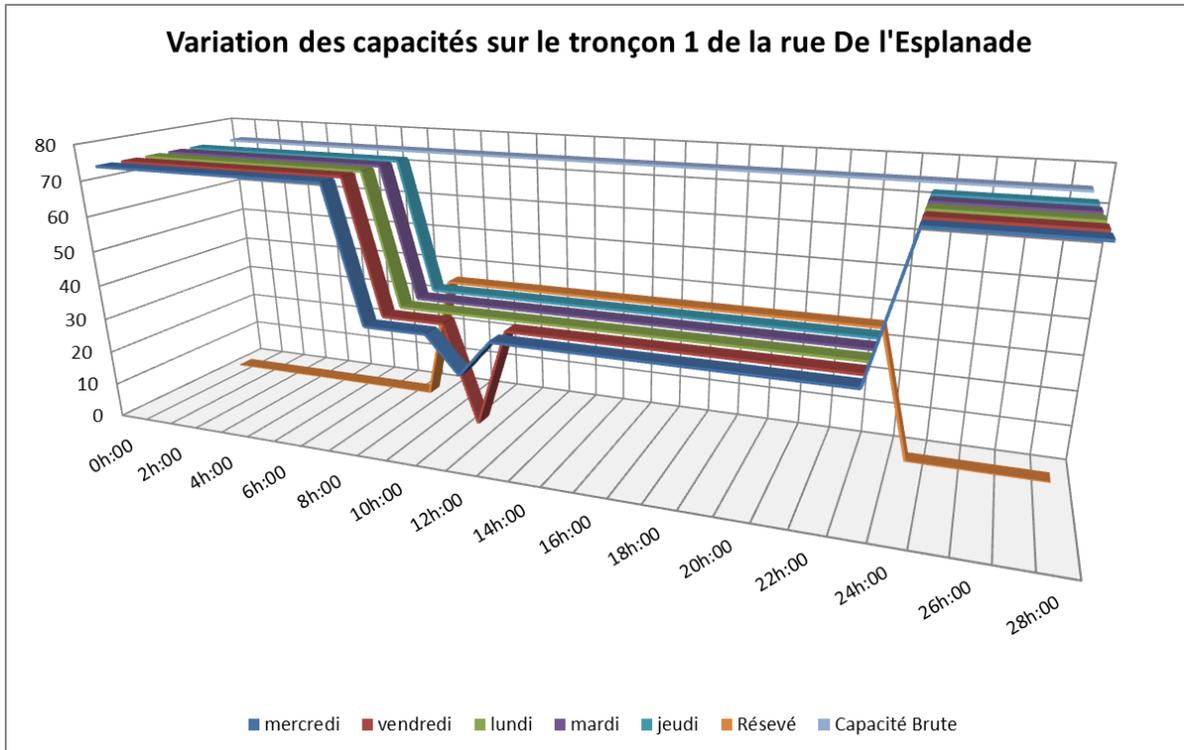


Figure 45. Variation des capacités sur le tronçon 1

3.6.7 Perspectives

Le projet de recherche tire à sa fin et les travaux auront permis de mieux évaluer la qualité des estimations de capacité effectuées à l'aide des données de déplacements obtenues des enquêtes Origine-Destination.

Cette étude a été faite avec l'aspiration de mettre les bases d'une méthodologie d'analyse des stationnements. Dans notre cheminement, il nous a été donné l'occasion de contribuer à plusieurs domaines en relation avec le stationnement :

- La revue de littérature nous a permis, d'une part, de couvrir de façon exhaustive le phénomène du stationnement, que nous savons être, un des domaines les plus déficients en matière de recherche dans le domaine des transports. D'autre part, la revue de littérature nous a également permis de faire ressortir les défis reliés à la gestion du stationnement.
- Nous avons également présenté une méthode de détermination des profils d'accumulation de véhicules et des capacités de stationnement dans les arrondissements, à partir des données d'enquêtes origine-destination. L'usage des données de l'enquête O-D nous a permis de noter des biais et certaines lacunes de la table des données, notamment du fait que les questionnaires de l'enquête n'aient pas prévu la possibilité de faire une étude des stationnements, à partir des données recueillies. Il est donc temps de dire ici, que ce travail de recherche a également contribué à démontrer la possibilité de faire des études de stationnement à partir des données des enquêtes O-D tenues à Montréal.
- Dans ce travail de recherche, nous avons aussi proposé une nouvelle méthode de détermination des capacités de stationnement sur un territoire. À partir de collectes de données sur le terrain ou de collectes de données à partir d'outils informatiques, les



données collectées grâce à cette nouvelle méthode pourraient contribuer à améliorer nos connaissances dans le domaine du transport en général et du stationnement en particulier.

Le mémoire sera déposé sous peu.

3.7 Analyse évolutive des comportements de mobilité des jeunes

- Étudiant : Félix Pépin (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : en cours (fin prévue : décembre 2012)
- Financement : Chaire Mobilité

3.7.1 Introduction

La mobilité des enfants est une problématique rarement abordée dans une optique d'optimisation des conditions de transport métropolitaines. Or, peu de phénomènes influencent davantage la mobilité des membres d'un ménage que l'arrivée, puis le développement d'un enfant. C'est donc autour de cette idée que ce projet a été développé au cours de la dernière année.

De manière générale, la problématique derrière cette étude est de comprendre les déterminants, les caractéristiques et l'évolution de la mobilité des enfants au cours des dernières décennies. Parallèlement, cette meilleure compréhension des habitudes de déplacements de cette population permettra d'en évaluer la place dans le schéma global de la mobilité métropolitaine et, possiblement, de mettre leur importance en évidence. Voici les objectifs permettant de résoudre cette problématique :

- Analyser les comportements individuels de mobilité des enfants tels que révélés par les grandes enquêtes Origine-Destination;
- Caractériser les liens entre le lieu de domicile des élèves de la grande région de Montréal (GRM) d'ordre préscolaire, primaire et secondaire.

La méthode privilégiée pour la réalisation du premier objectif spécifique est l'exploitation de données tirées des enquêtes Origine-Destination (OD) à l'aide de modèles linéaires généralisés de type Âge-Période-Cohorte (APC). Certaines contraintes liées à ce type de modèles font en sorte qu'une analyse descriptive précise des données (donc, des habitudes de mobilité des jeunes) doit être réalisée.

En plus des analyses requises pour le développement des modèles APC, une attention particulière est accordée aux trajets scolaires des enfants, ceux-ci représentant une proportion non négligeable des déplacements de la population ciblée par ces travaux (jeunes d'âge scolaire). L'exploitation d'un ensemble de données distinct (inscriptions scolaires en 1998 et 2008) permet ainsi d'atteindre le second objectif en explorant le concept d'éloignement scolaire (i.e. distance calculée entre le lieu de domicile d'un enfant et l'établissement scolaire qu'il fréquente).

La structure de cette note synthèse reprend de manière grossière celle du mémoire duquel elle est inspirée. Dans un premier temps, vous pourrez lire un résumé d'une revue de littérature partielle concernant différents enjeux associés à la mobilité des jeunes (évolution des comportements, déterminants du choix modal, impacts physiques et cognitifs des tendances observées sur le développement des enfants). Ce survol sera suivi de quelques analyses descriptives réalisées à partir des données OD avant de traiter plus en détail du concept d'éloignement scolaire. Enfin, une ouverture sur les prochaines étapes de cette étude constituera la conclusion de cette note synthèse.



3.7.2 Littérature

Actuellement, les tendances observées dans la plupart des pays occidentaux en matière de mobilité chez les enfants se résument comme suit. D'abord, la popularité des modes de transports actifs serait en déclin au profit d'une utilisation accrue de l'automobile ((Buliung, Mitra, & Faulkner, 2009; Jensen & Hummer, 2002; R. L. Mackett, Lucas, Paskins, & Turbin, 2002). Les mêmes comportements sont observés pour les déplacements vers l'école (McDonald, 2007; TDC, 2003; Van Der Ploeg, Merom, Corpuz, & Bauman, 2008). Certains chercheurs avancent que l'augmentation des distances entre les lieux de domicile des jeunes et leurs établissements scolaires respectifs contribuerait activement à ce phénomène, (R. L. Mackett, 2001; McDonald, 2007; TDC, 2003) mais plusieurs autres facteurs entrent nécessairement en ligne de compte.

Ces facteurs pourraient être regroupés en trois grandes familles : les indicateurs familiaux, personnels et environnementaux. Les premiers sont particulièrement liés aux caractéristiques et habitudes des parents tout comme leurs perceptions à l'endroit de plusieurs phénomènes. La littérature mentionne entre autres choses que le revenu familial influence significativement le choix modal des jeunes (McDonald, 2007, 2008; McMillan, 2007; Pabayo & Gauvin, 2008; Pabayo et al., 2011; Zwerts & Wets, 2006). La motorisation du ménage ((Bringolf-Isler et al., 2008; Ewing, Schroeer, & Greene, 2004; Lewis & Torres, 2010), l'horaire ou le lieu de travail des parents (Collins & Kearns, 2001; Heelan et al., 2005), leur perception de l'environnement et des options de transport (Cloutier, Bergeron, & Apparicio, 2010; Lewis & Torres, 2010; Merom, Tudor-Locke, Bauman, & Rissel, 2006) ou la simple présence de plus d'un enfant dans un ménage (McDonald, 2008; McMillan, 2007; Pabayo, et al., 2011; Zwerts & Wets, 2006) influenceraient aussi les habitudes de déplacements des jeunes.

Les indicateurs personnels correspondent davantage aux caractéristiques spécifiques aux enfants. Ainsi, des travaux ont démontré une certaine corrélation entre l'âge (Cameron, Wolfe, & Craig, 2007; Pabayo & Gauvin, 2008), le sexe (Cameron, et al., 2007; Merom, et al., 2006; Pabayo & Gauvin, 2008), l'origine ethnique (McDonald, 2007, 2008) des enfants et leurs choix modaux.

Les indicateurs environnementaux sont particulièrement variés. La distance représente sans doute un des facteurs principaux dans le choix modal des jeunes (Bringolf-Isler, et al., 2008; Collins & Kearns, 2001; Ewing, et al., 2004; Heelan, et al., 2005). La densité de population (McDonald, 2008), la présence de trottoirs (Ewing, et al., 2004), de feux de circulation (Timperio, Crawford, Telford, & Salmon, 2004), ou le nombre d'enfants dans un quartier dicteraient aussi les options de transport considérées par les parents pour leurs jeunes.

Finalement, les tendances observées dans les habitudes de mobilité des enfants auraient plusieurs effets néfastes sur leur développement. Plusieurs chercheurs ont identifié un lien positif entre les transports actifs et le niveau d'activité physique des jeunes (Davison, Werder, & Lawson, 2008; Faulkner, Buliung, Flora, & Fusco, 2009). Or, l'obésité infantile est un grave problème, notamment en Occident et particulièrement en Amérique du Nord. Une hausse du taux d'activité physique contribuerait à tout le moins à ralentir la propagation de cette « épidémie ». Quelques impacts de la motorisation des déplacements ont aussi été identifiés sur le plan du développement social (R. Mackett, Brown, Gong, Kitazawa, & Paskins, 2007; Prezza et al., 2001) et cognitif (Dray, Legendre, & Peres-Neto, 2006; Fotel & Thomsen, 2004; Hillman, Adams, & Whitelegg, 1990) des jeunes.

3.7.3 Analyse descriptive des données OD

Une analyse descriptive précise s'avère nécessaire en raison des problématiques d'identification des effets et d'échantillonnage liées aux modèles APC. Celle-ci permettra par la suite d'offrir des pistes pour diriger l'analyse des résultats des modèles et de valider les hypothèses à poser.

Sur le plan démographique, la population des jeunes de 5 à 19 ans habitant le territoire d'enquête OD a augmenté considérablement dans les derniers vingt ans. L'élargissement du territoire d'enquête (de 3 300 km² en 1987 à 8 200 km² en 2008) explique naturellement une bonne partie de cette croissance. En matière de densité, les plus hautes densités d'enfants sont localisées au sein des secteurs centraux de l'Île. Ces mêmes secteurs sont par contre touchés par des pertes nettes de jeunes entre 1987 et 2008.

En matière de déplacements, plusieurs phénomènes peuvent être observés. D'abord, les distances moyennes des déplacements semblent croître au cours de la période étudiée pour les jeunes de 5 à 19 ans alors qu'elle semble diminuer après 20 ans. Parallèlement, il est possible d'observer une baisse du nombre moyen de déplacements par personne.

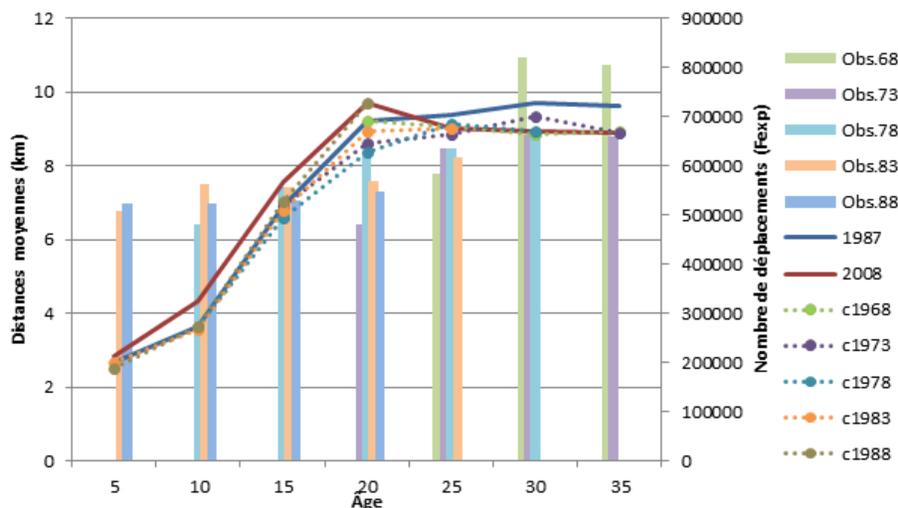


Figure 46. Graphique type permettant l'analyse descriptive des effets APC

L'analyse descriptive des effets d'âge, de période et de cohorte peut être réalisée à l'aide de graphiques inspirés du diagramme de Lexis. Ainsi, des analyses transversales (effet âge) et longitudinales (effet cohorte) peuvent être illustrées facilement. Cet outil sera exploité dans la réalisation des analyses descriptives restantes et dans la visualisation des résultats issus des modélisations.

3.7.4 Analyse de l'éloignement scolaire

Les déplacements scolaires étant particulièrement importants pour la population ciblée par cette étude, une analyse et quelques expérimentations ont été réalisées en fonction de ce motif. Cette portion du projet permet donc d'atteindre le second objectif mentionné plus tôt, soit la caractérisation des liens domicile-école (éloignement scolaire) des étudiants de la GRM. Parallèlement, cette thématique permet de mettre en perspective les solutions à la congestion métropolitaine actuellement envisagées à Montréal et même ailleurs. En effet, en analysant le concept d'éloignement scolaire, il est possible de comprendre à quel point certaines décisions individuelles sans liens apparents avec la congestion métropolitaine (i.e. le choix d'une école pour



son enfant) peuvent avoir des impacts considérables sur l'efficacité des réseaux de transports de l'agglomération montréalaise.

3.7.5 Méthodologie

Pour cette portion du projet, les données d'inscriptions scolaires (et les établissements d'enseignement correspondants) en 1998 et en 2008 ont été exploitées. Les données disponibles recensaient la quasi-totalité des élèves et des infrastructures présents sur un territoire équivalent à celui de l'enquête OD 2008; c'est donc ce qui a été utilisé aux fins de cette étude.

L'idée derrière cette thématique était d'évaluer l'efficacité, d'un point de vue transport, du choix de l'école fréquenté par les jeunes de la GRM et de donner un ordre de grandeur des impacts sur le réseau. Pour ce faire, un processus de modélisation itératif fut utilisé. Dans un premier temps, la somme des distances associées à l'éloignement scolaire en 2008 fut calculée afin d'être utilisée comme base de référence. Dans un second temps, un modèle de distribution classique permit d'associer chaque élève à l'école (offrant son cycle d'enseignement) la plus proche (A). Dans un troisième temps, une contrainte « Réseau » fut ajoutée. Ainsi, cette distribution (B) permet de calculer la somme de des distances d'éloignement scolaire dans une situation théorique où chaque enfant fréquenterait l'école du réseau désiré (réseau observé dans les données de 2008), la plus proche de son domicile. Dans un quatrième temps, une contrainte de capacité (observée en 2008) est ajoutée, modélisant ainsi une distribution théorique « plausible » selon les infrastructures disponibles en 2008 (C). Ces résultats ont par la suite été analysés.

3.7.6 Résultats

L'optimisation de l'éloignement scolaire offre des résultats surprenants, peu importe les contraintes utilisées. En effet, les distributions A, B et C minimisent l'éloignement scolaire global (somme des distances séparant les domiciles des écoles) de 70 %, 60 % et 40 % respectivement. Le scénario théorique le moins performant (C) permettrait tout de même « d'économiser » plus de 480 000 km d'éloignement scolaire. Considérant que cette distance doit, au minimum, être effectuée deux fois par jour (aller et retour de l'école), la contribution des enfants sur les réseaux métropolitains s'avère considérable. Le Tableau 9 présente les résultats tirés des modélisations.

Tableau 9. Gains kilométriques associés aux modèles A, B et C

	Existant (Km)	A		B		C	
		Gains (km)	% vs Ex	Gains (km)	% vs Ex	Gains (km)	% vs Ex
Précolaire	84 260	51 450	61.1%	46 000	54.6%	33 420	39.7%
Primaire	511 390	332 810	65.1%	299 150	58.5%	218 130	42.7%
Secondaire	1 211 440	864 700	71.4%	760 830	62.8%	483 700	39.9%

3.7.7 Discussion

Logiquement, l'étape suivante est d'évaluer si les scénarios théoriques minimisent suffisamment les distances de déplacements (indicateur très important dans le choix des modes actifs) pour augmenter le nombre d'étudiants pouvant potentiellement se déplacer à pied. Pour ce faire, le concept des distances seuils fut exploité (voir les travaux de Poliquin). Calculés pour chaque groupe d'âge (en fonction du cycle d'enseignement) à partir des données d'enquête OD, ces seuils permettent d'évaluer la distance maximale pour laquelle le mode « Marche » était une option réaliste en 2008. Une fois les données de chaque modèle filtrées relativement à ces seuils, il est plutôt intéressant de constater une hausse considérable du nombre de piétons dans l'ensemble des scénarios. Ces résultats ont ensuite été analysés en fonction du cycle d'enseignement, du réseau et de la localisation des enfants dans la GRM.

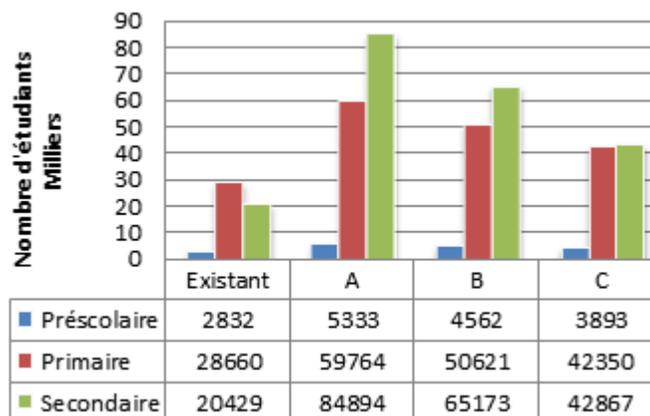


Figure 47. Piétons potentiels selon le niveau d'enseignement

3.7.8 Perspectives

Plusieurs travaux devront être terminés au cours des prochains mois. D'abord, l'analyse descriptive des données OD doit absolument être achevée. Des volets portant sur l'évolution de la durée des activités chez les jeunes puis sur la répartition modale au cours des 20 dernières années compléteront donc cette section.

Par la suite, les expérimentations avec les modèles APC seront réalisées. Les résultats de ces modélisations seront analysés avant de poursuivre avec la projection des comportements selon différents scénarios. La méthodologie permettant ces étapes reste toujours à être développée.



3.8 Tendances liées à la composition, la motorisation et la localisation spatiale des ménages

- Étudiant : Sébastien Désilets (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : en cours (fin prévue : décembre 2012)
- Financement : Chaire Mobilité

3.8.1 Introduction

Beaucoup de recherches dans le domaine de la mobilité s'intéressent à l'individu afin d'analyser et de prévoir la demande en transport. Cependant, l'organisation quotidienne des activités de tous les membres du ménage est directement liée à la typologie, la localisation et la motorisation du ménage d'appartenance; en découleront des choix modaux ponctuels et habituels. Cette organisation peut présenter divers degrés de rigidité et a généralement une portée hebdomadaire compte tenu de la régularité des activités professionnelles, scolaires, des besoins alimentaires et autres. Cette recherche vise à mesurer l'impact des propriétés du ménage dans la demande individuelle de transport et à comprendre comment cette interaction pour contribuer au raffinement de la modélisation de la demande à différents horizons. Elle consiste en une approche intégrée d'aménagement-transport dans la mesure où un ménage vit généralement dans une unité de logement.

3.8.2 Problématique

Les sociétés développées voient le nombre de ménages augmenter beaucoup plus rapidement que la population dû à différents facteurs socio-économiques. À Montréal, dans le territoire de la RMR de 1991, la croissance de la population fut de 2,9 % entre 1991 et 2006⁴ alors que le nombre de ménages a augmenté de 11,3 %. Ces augmentations sont liées, en autres, à la baisse de la fécondité, au vieillissement de la population et à l'explosion de familles impliquant la réduction de la taille moyenne des ménages. L'augmentation marquée de ménages comptant deux personnes est, pour sa part, notamment attribuable au départ des enfants des baby-boomers du foyer familial.

Ainsi à chaque ménage est lié un point d'origine typique de déplacement. Celui-ci est utilisé par l'ensemble des membres du ménage, souvent pour effectuer le premier déplacement de la journée. Celui-ci prescrit, à son tour, l'ensemble de la mobilité quotidienne des individus. D'un point de vue géographique, les changements les plus importants se situent à l'extérieur du centre où le développement immobilier a atteint une certaine maturité. La Figure 48 présente, par exemple, la variation, en proportion, du nombre de ménages de 2 personnes entre 1991 et 2006.

⁴ Territoire RMR de 1991, Recensement 1991 et 2006, Statistique Canada

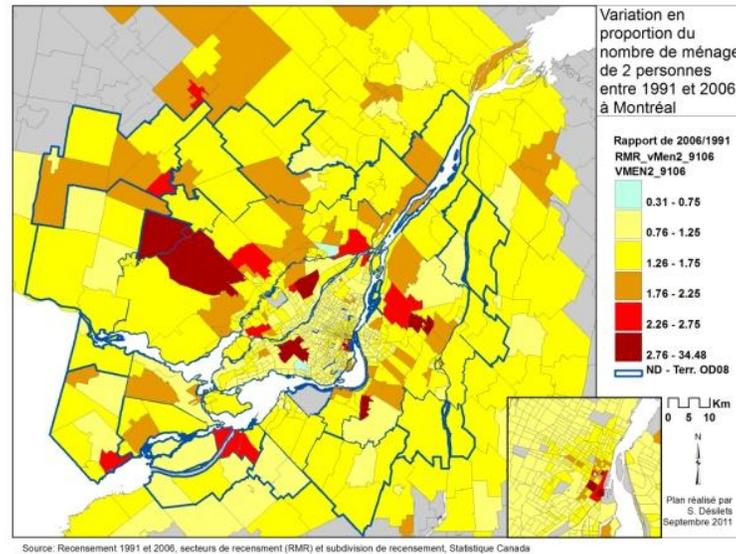


Figure 48. Variation, en proportion, du nombre de ménages de 2 personnes entre 1991 et 2006 à Montréal

L'organisation de la mobilité quotidienne des individus au sein d'un ménage implique souvent la formulation de différents scénarios d'horaire, ce qui présente un niveau de complexité et de stress, individuel ou collectif, variable en fonction du nombre de destinations, des contraintes de tous les membres et du nombre de déplacements (et chaînes de déplacement) à réaliser par l'ensemble du ménage au cours d'une journée. La présence d'enfants ou de membres ayant certains niveaux de dépendance est un facteur qui complexifie cette organisation. Il est donc pertinent de comprendre la structure des ménages, son évolution ainsi que ses incidences sur la mobilité individuelle.

Les figures qui suivent renseignent sur les différences existant entre chaque type de ménage⁵ concernant le kilométrage parcouru et la distance entre le domicile et le centre-ville en fonction de l'âge des individus. Nous y voyons que le kilométrage parcouru est plus élevé durant la période active (15-65 ans) pour les personnes habitant un ménage de 4 personnes et plus. La distance entre le domicile et le centre-ville atteint un sommet chez la tranche 30-35 ans des personnes habitant un ménage de 4 personnes et plus. D'autres analyses présentent des différences moins perceptibles entre chaque type de ménage concernant le kilométrage parcouru en fonction de la distance entre le domicile et le centre-ville. Cela est possiblement dû à des destinations professionnelles situées près du lieu de résidence pour au moins un membre du ménage.

⁵ Men1: ménage d'une personne, Men2: ménage de 2 personnes, Men3: ménage de 3 personnes et Men4P; ménage de 4 personnes et plus

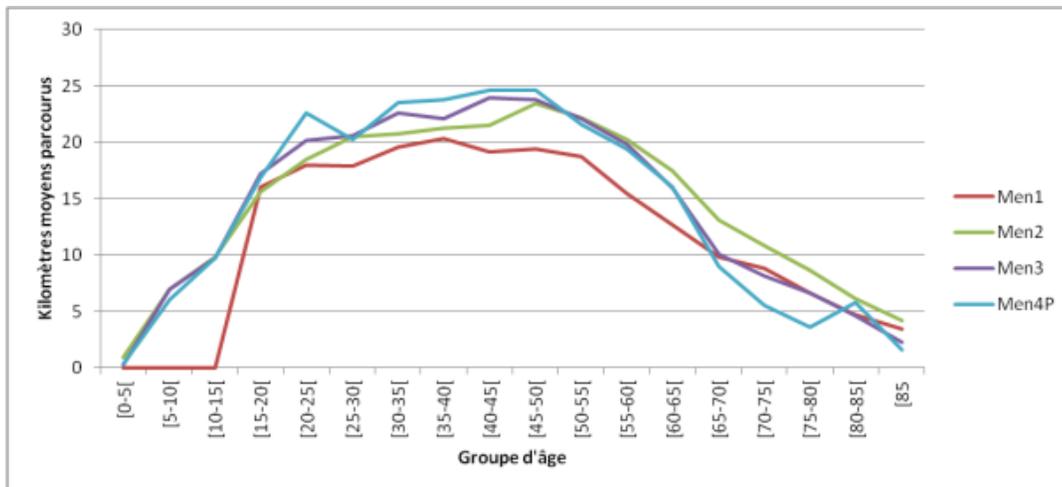


Figure 49. Kilométrage parcouru par jour par personne selon le type de ménage selon l'âge

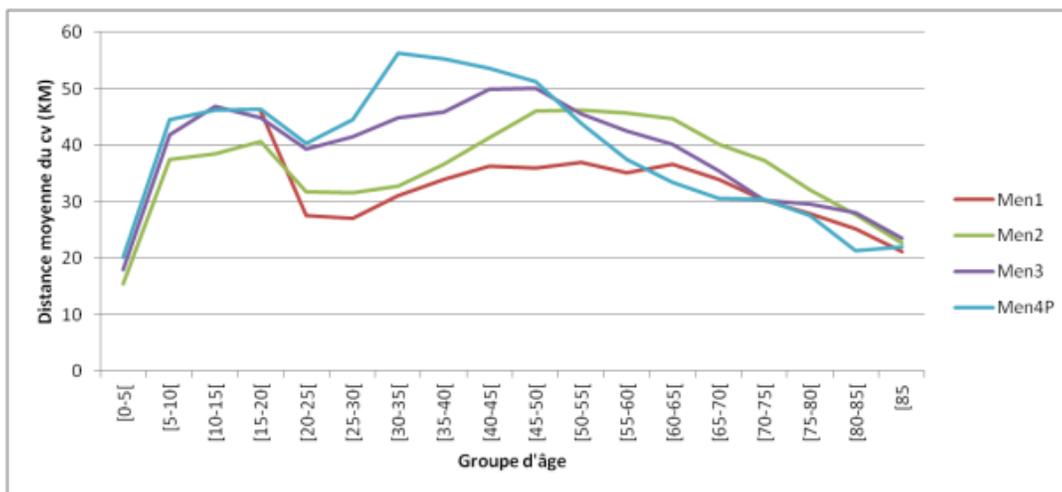


Figure 50. Distance moyenne entre le domicile et le centre-ville selon l'âge et le type de ménage

3.8.3 Questions de recherche

En appui aux analyses de l'évolution des comportements de transport par type de ménage, nous réalisons des projections démographiques selon différents scénarios de localisation spatiale des ménages afin de permettre d'établir des probabilités d'appartenir à un type de ménage et déduire certains indicateurs de comportements. Une autre piste se concentrera sur la sédentarité des ménages et sur la place des transports dans le processus de localisation spatiale.

La recherche s'articule autour des questions suivantes:

- Quelle est l'évolution des comportements de transport par type de ménage?
- Quelle est la différence de comportements entre ménages de même type mais vivant à différentes localisations?
- Quelles sont les types de ménage en croissance ou en décroissance et comment ces tendances varient-elles dans l'espace?
- Quel est l'impact de la sédentarité/mobilité des ménages sur la demande en transport?
- Comment modéliser les types de ménage et leur localisation spatiale?

3.8.4 Méthodologie

L'approche développée implique le croisement de différents ensembles de données (Statistique Canada, enquêtes Origine-Destination). En résumé, en plus d'être associé à un type de ménage, chaque individu hérite des caractéristiques géographiques de son secteur de résidence (pourcentage de bâtiments construits 5 ans auparavant, nombre moyen de pièces par logement, etc.). Ces différentes variables, combinées aux attributs propres des individus, sont utilisées pour développer un modèle visant à décrire l'appartenance à un type de ménage (variable expliquée). Ainsi, les données des enquêtes OD de 1987, 1993, 1998 et 2003 sont utilisées pour estimer un modèle multinomial logit visant à décrire la probabilité de chaque individu d'appartenir à un type de ménage (ainsi que la façon dont cette probabilité évolue dans le temps): une, deux, trois ou quatre personnes et plus. Des regroupements d'âges sont réalisés par tranches de 5 ans. Les données exploitées dans cette recherche proviennent donc de trois sources :

- les données des enquêtes origine-destination de 1987, 1993, 1998, 2003 et 2008 de la région de Montréal;
- les données de fichiers de microdonnées de Statistique Canada pour cibler les tendances de relocalisation par type de ménage;
- les données de recensement de Statistique Canada pour localiser l'évolution de l'occupation du sol des différents types de ménage (SR et SDR).

3.8.5 La modélisation de la typologie du ménage

L'appartenance à un type de ménage suit en grande partie les cycles de vie des individus. La Figure 51 présente la répartition démographique de la population, en proportion, selon la taille du ménage d'appartenance (ménages à 1, 2 et 4 personnes et plus), et ce pour 1987 et 2008.

Depuis 1987 nous remarquons trois principaux mouvements : 1) la proportion de personnes vivant seule a augmenté, 2) la part des ménages de 4 personnes et plus est moindre et 3) les jeunes forment un ménage de 2 ou de 4 personnes plus tard dans leur vie. L'âge moyen des femmes à l'arrivée du premier enfant est d'ailleurs une tendance lourde qui sera intégrée ultérieurement au modèle.

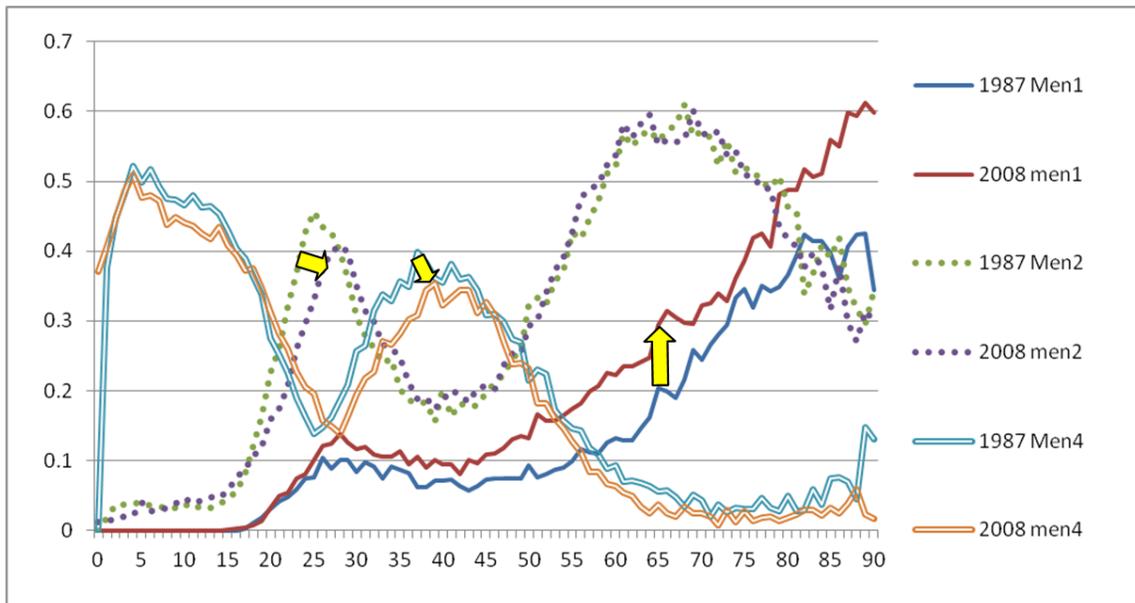


Figure 51. Évolution de la répartition de la population par taille de ménage entre 1987 et 2008 (territoire OD87)

Différents modèles seront estimés en vue d'expliquer l'appartenance à un type de ménage à partir, d'une part, des variables démographiques (âge et sexe) et, d'autre part, de variables liées aux propriétés du lieu de résidence (voisinage, localisation spatiale, etc.).

Les résultats (cas des ménages à 1 personne) d'un des modèles actuellement expérimentés sont présentés ci-dessous. Il s'agit d'un modèle multinomial logit (modèle de choix discrets) visant à expliquer l'appartenance à un des quatre types de ménages suivants : 1 personne, 2 personnes, 3 personnes et 4 personnes et plus. Les données des quatre dernières enquêtes OD utilisées sont utilisées de façon combinée dans le modèle, une variable (période) permettant de valider si les différences sont significatives entre les années (des modèles séparés sont aussi estimés), et ce à partir des variables suivantes :

- Sexe : prend la valeur 1 si la personne est un homme
- Pc_lan_no : pourcentage de personnes dont la langue maternelle n'est ni l'anglais, ni le français
- Periode : 1 si données de l'OD 1987, 2 pour 1993 et ainsi de suite
- dist_cv : distance entre le domicile et le centre-ville, mesurée à vol d'oiseau
- PC_5a : pourcentage d'unités de logement du quartier de moins de 5 ans
- pc_avant46 : pourcentage d'unités de logement construites avant 1946
- pc_46a60 : pourcentage d'unités de logement construites entre 1946 et 1960
- pc_61a70 : pourcentage d'unités de logement construites entre 1961 et 1970
- pc_71a80 : pourcentage d'unités de logement construites entre 1971 et 1980
- pc_81a85 : pourcentage d'unités de logement construites entre 1981 et 1985
- pc_86a90 : pourcentage d'unités de logement construites entre 1986 et 1990
- pc_91a95 : pourcentage d'unités de logement construites entre 1991 et 1995
- pc_96a00 : pourcentage d'unités de logement construites entre 1996 et 2000
- pc_01a06 : pourcentage d'unités de logement construites entre 2001 et 2006
- A3 : personne de 0-4 ans
- A8 : personne de 5-9 ans

- A13 : personne de 10-14 ans
- A18 : personne de 15-19 ans
- A23 : personne de 20-24 ans
- A28 : personne de 25-29 ans
- A33 : personne de 30-34 ans
- A38 : personne de 35-39 ans
- A43 : personne de 40-44 ans
- A48 : personne de 45-49 ans
- A53 : personne de 50-54 ans
- A58 : personne de 55-59 ans
- A63 : personne de 60-64 ans
- A68 : personne de 65-69 ans
- A73 : personne de 70-74 ans
- A78 : personne de 75-79 ans
- A83 : personne de 80-84 ans
- A88 : personne de 85-89 ans
- A90p : personne de 90 ans et plus
- pc_unifami~1 : pourcentage d'unités de logement de type unifamilial
- pc_5eM : pourcentage d'unités de logement de type appartement de 5 étages et moins.

Les résultats du modèle, présentés ci-dessous pour le cas des ménages à une personne, confirment que la probabilité d'appartenir à un ménage d'une personne est plus faible pour les hommes, augmente avec le temps (effet positif de la variable « période »), est évidemment la plus faible pour les jeunes et augmente progressivement avec l'âge pour être maximale chez les personnes de 75 ans et plus et est négativement corrélée au pourcentage d'unités de logement de type familial. Des résultats similaires sont obtenus pour les autres types de ménages. Les analyses, descriptives et spatiales, sont en cours.

52). L'enquête intègre également une évaluation des réseaux sociaux comme méthodologie d'échantillonnage.

Domicile actuel (après le déménagement):

Prrière d'entrer les informations suivantes sur votre **domicile actuel**:

Code postal Type de bâtiment
 Nombre de pièces

[Je ne connais pas ou j'ai oublié le code postal](#)

*Vous pouvez naviguer sur la carte, utiliser le zoom et cliquer à l'endroit exact où se situe votre domicile
 Vous pouvez également déplacer l'icône pour préciser l'emplacement de votre domicile si le système ne l'a pas localisé correctement*

[Je désire obtenir de l'aide sur l'utilisation de la carte](#)

Quand avez-vous emménagé dans votre domicile actuel?
 Mois Année

Niveau où se trouve le domicile Importance d'habiter à ce niveau

Est-ce votre premier domicile dans la province de Québec? Oui Non
 En vous incluant, combien de personnes habitent au moins 4 jours par semaine à votre domicile?

Est-ce que votre ménage est propriétaire de ce domicile? Oui Non
 Excluant Communauto, combien de véhicules sont à la disposition des membres de votre ménage?

Pour les éléments suivants indiquez la situation avant et après votre déménagement

	J'avais avant		J'ai maintenant		Cet élément est
	Oui	Non	Oui	Non	
Stationnement extérieur privé	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="Souhaitable"/>
Garage	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="Souhaitable"/>
Entrée laveuse-sécheuse	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="Essentiel"/>
Droit à des animaux	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="Souhaitable"/>
Terrain privé	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="Peu important"/>
Terrasse ou balcon (4 places et +)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="Souhaitable"/>
Piscine	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="Peu important"/>

Figure 52. Illustration de l'outil WEB de collecte de données sur les déménagements

Enfin, d'autres variables seront testées pour améliorer les résultats du modèle comme l'âge moyen de fécondité (déplacement de l'âge des ménages de 4 personnes et plus). Elles pourront être appliquées à d'autres typologies telles que les ménages avec enfants, 2 adultes retraités ou autres.



3.9 Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport

- Étudiant : Kinan Bahbouh (doctorat en cotutelle avec l'INSA de Lyon)
- Supervision : Morency / Berdier (INSA)
- État : début du programme
- Financement : Partiel Chaire / CRSNG / France

3.9.1 Introduction

Les projets de transport appartiennent au contexte de l'ingénierie civile – transport, mais avec une forte interaction avec l'environnement, la société et l'économie, ainsi que la politique. Au Québec les projets de transport sont assujettis, selon la loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q. c. Q-2) et plus précisément de son article 31.1, à une évaluation des impacts sur l'environnement.

L'analyse et l'évaluation environnementale des projets de transport sont réalisées normalement par le biais de l'Étude d'Impact Environnemental (EIE). Cette méthodologie permet d'identifier et d'évaluer les impacts locaux d'un projet à moyen et à court termes; elle est donc limitée au niveau temporel (court à moyen terme) et spatial (impacts locaux) (CTD, 2002).

Le transport durable, selon la définition du Centre pour un transport durable (2002), cherche à minimiser les impacts (conséquences), la production de déchets, le coût de transport et les impacts sur la santé humaine et les écosystèmes, etc. Il sera donc difficile d'estimer les coûts réels du projet pendant la totalité de son cycle de vie en utilisant l'EIE (Jolliet, 2010).

La *Loi sur le développement durable* (Québec, 2006) inscrit l'internalisation des coûts (bien ou service) parmi les 16 principes de développement durable au Québec : « **Le coût des biens et des services doit refléter l'ensemble des coûts qu'ils occasionnent à la société durant tout leur cycle de vie, de leur conception jusqu'à leur consommation ou disposition finale** ».

3.9.2 Objectifs

Ce projet de recherche s'intéresse à l'évaluation des aspects environnementaux et sociaux liés à l'aménagement et à l'utilisation d'un corridor de transport durant la totalité de son cycle de vie.

Papageorgiou (Papageorgiou 1995) définit un corridor comme « un réseau de routes et d'autoroutes »; l'aménagement sur une partie de ce réseau aura des impacts sur les autres parties du réseau. L'identification de la (des) solution (s) qui permet d'optimiser un corridor est influencée (Carr, Dixon et al. 2010) par les caractéristiques de la circulation (le débit vs la capacité, la vitesse, la sécurité,..), les caractéristiques économiques (coût de déplacement, services disponibles ..) ainsi que les impacts environnementaux.

Dans le secteur du transport, l'augmentation de la demande, la congestion croissante et la saturation des différents réseaux (routiers, TC), conséquences des modus operandi typiques, exigent de réfléchir à de nouvelles avenues pour assurer correctement les besoins de mobilité des personnes et des biens. On a souvent pensé que l'augmentation de la capacité dans un corridor permettait de réduire de façon pérenne le coût de transport (temps) mais ce n'est typiquement pas le cas. Cette nouvelle offre induit une augmentation de la demande dans l'axe modifiée (nouvelles habitations, nouvelles lignes de désir et donc une réaugmentation du coût de transport jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint entre l'offre et la demande. C'est pourquoi il est nécessaire d'élargir la période d'analyse et d'évaluation des impacts des interventions, sur un corridor par

exemple, pour tenir compte des impacts liés à la variation de l'offre et de la demande, et au développement urbain lié, durant le cycle de vie de l'infrastructure ou de l'intervention.

Les méthodologies d'évaluation sont nombreuses et le choix d'outils d'évaluation dépend des objectifs poursuivis. Les projets de transport sont des projets complexes qui ont des impacts significatifs sur l'environnement, la société et l'économie directement et indirectement. L'ACV offre un outil qui permet d'évaluer les impacts afin de faciliter la prise de décision.

L'ACV est la seule méthodologie normalisée au niveau international (série ISO 14040). Cette méthodologie est reconnue dans l'industrie car elle tient compte du cycle de vie du produit ou du service.

Le projet de recherche soulève différentes questions: une méthodologie comme l'ACV permettrait-elle une évaluation plus juste des impacts d'un corridor de transport? Sera-t-elle adaptée à des projets (politiques, infrastructures) ayant une multitude de variables comportementales, environnementales, sociales et économiques?

Ce projet de recherche propose de réfléchir aux paradigmes et mécanismes d'évaluation des impacts d'un corridor de transport et notamment d'évaluer la pertinence de l'ACV comme outil d'évaluation des projets, plans et politiques de transport. On suppose que cette approche permettra plus facilement de tenir compte des impacts à différentes échelles spatiales et temporelles et d'intégrer la prise en compte des changements comportements et au niveau de l'organisation spatiale des lieux de domicile et d'activités.

Le projet s'intéressera à dresser l'état de l'art et de la pratique, au Québec et au niveau international, de méthodologie de définition et d'évaluation de corridors de transport et de processus d'évaluation des impacts des projets de transport durant leur cycle de vie. Il cherchera plus précisément à évaluer l'application de la méthodologie de l'analyse de cycle de vie (Série ISO14040) aux projets de transport en prenant en compte les aspects sociaux et coût collectif.

3.9.3 L'analyse de Cycle de vie

La méthodologie de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est un outil qui permet d'évaluer les impacts globaux du projet du *berceau au tombeau* afin de faciliter la prise de décision. La Figure 53. Méthode d'évaluation d'impacts, source : (Jolliet 2010) présente le champ couvert par l'ACV et l'EIE.

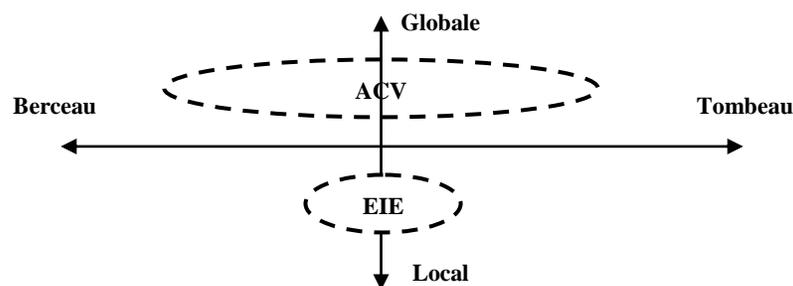


Figure 53. Méthode d'évaluation d'impacts, source : (Jolliet 2010)

La norme ISO14040 (ISO 2006) définit l'ACV comme « un outil d'aide à la décision permettant d'évaluer les impacts d'un produit ou d'un projet (bien, service), depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation, soit « du berceau à la tombe ».



L'ACV prend en compte toute la chaîne d'approvisionnement : l'extraction des matières premières, le transport, l'utilisation (produits consommables, énergie) et la fin de vie (recyclage, enfouissement, incinération), et permet, à l'aide des indicateurs, de comparer les impacts environnementaux de deux ou plusieurs produits ou services.

L'ACV permet d'effectuer un bilan quantifié sur le cycle de vie, couvrant un grand nombre d'impacts différents; elle est la seule méthode qui lie l'impact environnemental à la fonction du produit, service ou système (Jolliet 2010). Afin de réaliser un ACV la norme ISO14044 (ISO 2006) définit quatre phases de réalisation:

- **1) Phase de définition des objectifs et du champ de l'étude :** Définir les points descriptifs tels que la raison ayant amené à la réalisation de l'ACV, les frontières du système étudié et l'application envisagée, etc.
- **2) Phase d'inventaire :** Regrouper les étapes de collecte, de validation et de traitement des données en cohérence avec la phase précédente.
- **3) Phase d'évaluation des impacts :** Définir les catégories d'impacts et leurs indicateurs et associer les résultats des traitements de données aux indicateurs déjà identifiés.
- **4) Phase d'interprétation :** Établir, à partir des éléments des trois phases, les conclusions, les éléments critiques, les limitations ainsi que les recommandations.

Enfin, La norme ISO14040 définit aussi les exigences de communication (interne ou externe) en garantissant la transparence.

Afin de réaliser un ACV, il faut bien choisir la méthode de réalisation. Il y a deux catégories d'ACV (ACV-Attributive et l'ACV-Consécutives). Dans sa thèse de doctorat Benoist (BENOIST 2009) définit ces deux catégories :

- 1- « **ACV-A attributive (Attributionnelle):** le souci principal de telles ACV est d'établir un bilan exhaustif d'un système ». L'ACV-A serait plus efficace pour comparer plusieurs produits/services qui ont les mêmes fonctions principales (utilisée principalement dans l'industrie pour comparer deux produits avec la même fonction).
- 2- « **ACV-C consécutives (Conséquentielle ou change-oriented) :** le souci principal de telles ACV est de décrire les effets que pourra avoir un changement au sein du système étudié ». L'ACV-C sera appropriée pour mesurer les impacts environnementaux associés à un changement ou une perturbation dans la production (Russell, Ekvall et al. 2005).

L'ADEME (Pasquier, Laurent et al. 2010) définit l'ACV-C comme une ACV qui « modélise les effets (les conséquences) de la décision d'un acteur de consommer davantage (ou moins) ». A ce titre, elle modélise la différence entre la situation obtenue en application de la décision prise en faveur (ou en défaveur) du système étudié et la situation sans cette décision. Dès lors, les moyens de production dont l'utilisation n'est pas affectée par la décision ne sont pas pris en compte.

Nous pouvons résumer les différences entre l'ACV-A et l'ACV-C: en ACV-C, contrairement à l'ACV-A, on ne suppose pas que l'offre réagisse linéairement à la variation de la demande (Hofstetter and Norris 2003). L'augmentation de la production d'un bien sur le marché augmente la capacité de l'offre ce qui peut amener une baisse des prix laquelle peut provoquer une augmentation de la demande et donc une hausse des prix jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint entre offre et demande. C'est pourquoi des modèles économiques sont souvent utilisés en ACV conséquentielle. L'ACV-C permet de prendre en compte certains paramètres régionaux de



grande importance jusqu'alors impossibles à considérés par le biais de l'ACV attributive (CIRAIG 2012).

Dans le domaine du transport, il y a plusieurs études comparatives d'ACV-A de modes de transport (véhicule électrique VS véhicule diesel, différents matériaux de construction) ou ACV-C de carburants (biocarburant VS diesel) en prenant en compte l'utilisation de la terre comme variable hors frontières.

Au niveau de l'évaluation de projets ou infrastructure de transport, il n'y a pas d'étude ACV complète. Il y a eu des tentatives d'estimation des GES ou de bilan carbone de différents scénarios (l'étude d'impact de train de l'est (AMT 2008) par exemple) mais ce type d'étude, partielle, ne permet pas d'identifier les solutions optimales en tenant compte des impacts à différents horizons.



3.10 Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal

- Étudiante : Catherine Plouffe (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : en cours (fin prévue : août 2013)
- Financement : Chaire Mobilité

3.10.1 Introduction

Une planification adéquate des infrastructures routières et des systèmes de transport en commun est justifiée à la fois par les investissements importants requis pour les travaux d'entretien et de construction ainsi que par la durée de vie de ces infrastructures. Une étude de la mobilité urbaine permet d'établir des priorités. Les méthodes de prévision doivent garantir que les infrastructures planifiées ne soient ni sous-utilisées ni surchargées au moment de leur utilisation. (Bonnell, 2002, 2004)

L'évolution des comportements de mobilité est cependant difficile à prévoir et à expliquer. En effet, plusieurs facteurs peuvent influencer les comportements de mobilité. Les modèles qui étaient largement utilisés il y a quelques décennies s'appuyaient sur des données agrégées car la qualité et la quantité des données ne permettaient pas une modélisation plus précise (Vuchic, 2005). Le groupe MADITUC a grandement raffiné la modélisation en présentant un modèle désagrégé de la demande qui est notamment utilisé par le MTQ (MTQ, 2012). Les données utilisées par ce type de modélisation, issues des enquêtes Origine-Destination, favorisent l'intégration d'une multitude de variables explicatives.

La localisation résidentielle et la motorisation sont largement acceptées par la communauté scientifique comme des facteurs influençant fortement la mobilité. Les variables démographiques peuvent également expliquer en partie l'évolution des comportements de mobilité. De ces variables, l'âge de l'individu et sa génération d'appartenance affecte la mobilité urbaine individuelle (Morency et Chapleau (2008), Pochet et Corget (2010) et Bussière (1992)) La difficulté des méthodes de prévision de la demande réside dans l'interprétation des résultats des modélisations, puisque la part des facteurs dans leur influence sur les comportements de mobilité est très mal définie. L'intensité avec laquelle chacune des variables démographiques affecte les comportements de mobilité n'est pas nécessairement la même, et peut évoluer spatialement et temporellement. De plus, les variables explicatives sont fortement corrélées et s'influencent entre elles. La quantification des effets de ces variables est nécessaire pour une bonne compréhension de l'évolution de la mobilité urbaine, et pour espérer prévoir la demande de façon plus juste. Des méthodes de décomposition des effets sont utilisées pour départager l'influence de chaque variable. (Grégoire (2011) et Krakutovski (2004)).

Les méthodes de prévision de la demande de transport doivent être améliorées puisque, dans leur forme actuelle, elles peinent à expliquer les tendances émergentes. De plus, elles ne permettent pas de prévoir si ces tendances s'amplifieront, se perpétueront ou si elles s'atténueront au cours des années à venir. L'importance relative des variables pouvant évoluer et l'absence de certaines autres variables dans les méthodes utilisées justifient également l'amélioration des méthodes de prévision de la demande de transport.



Question de recherche

Quels sont les effets respectifs des variations dans la composition démographique de la population, les modifications de la distribution spatiale des lieux de résidence et à l'évolution de l'offre de transport en commun dans la grande région de Montréal sur les changements dans les comportements de mobilité urbaine?

Objectif général

L'objectif est d'améliorer les méthodes de prévision de la demande de transport par l'application de méthodes d'analyse démographique sur l'ensemble de la population et le couplage de ces méthodes à des méthodes multiniveaux afin de tenir compte de variables telles que la localisation résidentielle et l'offre de transport en commun.

Hypothèse scientifique

Les variables d'âge, de cohorte et de période affectent la mobilité urbaine. Cette hypothèse oriente l'intégralité du projet de recherche puisqu'on suppose, littérature à l'appui, qu'on peut prévoir la mobilité urbaine et ses dimensions en connaissant la future composition démographique de la population et qu'on tient correctement compte de quelques variables explicatives (voisinage, offre de transport).

3.10.2 Objectifs spécifiques

1- Analyser de façon descriptive les comportements de mobilité dans la région montréalaise en segmentant la population selon les variables explicatives.

Une analyse descriptive permet d'entrevoir des tendances qui se répètent pour des individus ayant les mêmes caractéristiques. Elle permet en outre d'évaluer dans une première mesure si les variables démographiques d'âge, de cohorte et de période, ainsi que de nouvelles variables, semblent avoir des effets sur la mobilité. Les nouvelles variables seront, par exemple, l'appartenance ethnique, le rang de l'individu au sein de son ménage, la taille du ménage.

2- Décomposer les effets des différentes variables explicatives.

Les méthodes de décomposition des effets ne sont pas forcément nouvelles. Cependant, l'intégration de nouvelles variables dans la méthode et son application sur la population de la grande région de Montréal justifie pleinement une nouvelle décomposition des effets.

3- Identifier et quantifier des variables explicatives en vue de l'application du modèle.

La quantification des variables est nécessaire puisque l'importance de celles-ci diffère selon le contexte spatial et temporel. De plus, l'ajout de nouvelles variables dans la méthode de projection des comportements de mobilité nécessite un recalibrage des variables.

4- Combiner les méthodes de projection démographiques de la demande de transport à des méthodes multiniveaux afin de prendre en compte certaines variables explicatives

L'ajout de nouvelles variables, qui dépassent le cadre individuel, nécessite le couplage de la méthode d'analyse démographique à une méthode multiniveaux, ce qui est une nouveauté.



5- Appliquer et valider le modèle

Le modèle de prévision de la demande tel qu'exposé dans le projet est en soi une nouveauté. Son application sur la population de la grande région de Montréal est donc implicitement originale. Sa validation sera effectuée grâce aux données des 5 dernières enquêtes Origine-Destination.

3.10.3 Méthodologie

1- Revue de la littérature

La revue de la littérature est une étape importante du projet de recherche car elle permettra de situer le projet relativement aux autres modèles de prévision de la demande de transport. Elle permettra notamment de se documenter sur les variables généralement utilisées, reconnues comme ayant une influence importante sur les comportements de mobilité, et celles qui ont été ignorées jusqu'à ce jour. Les méthodes de décomposition des effets seront plus facilement comprises après la lecture d'exemples et de cas d'application. La manière d'appliquer les méthodes multiniveaux sera également éclaircie durant cette étape.

2- Traitement des données

Les données utilisées lors de ce projet sont issues des cinq dernières enquêtes Origine-Destination effectuées dans la grande région de Montréal. Comme les zones d'enquêtes et les questions posées lors de l'enquête diffèrent d'une enquête à l'autre, l'uniformisation des données est nécessaire.

3- Analyse descriptive des comportements de mobilité

Cette phase du projet est conséquente au premier objectif du projet. Le modèle âge-période-cohorte-caractéristiques a des limitations quant à l'interprétation des résultats puisqu'il est difficile de déterminer quelle variable influence le comportement de mobilité, de quelle façon et avec quelle intensité. La construction d'un modèle nécessite une bonne connaissance des tendances de la part du chercheur. L'analyse descriptive peut donc permettre d'identifier quelles variables semblent généralement influentes. L'analyse descriptive des comportements de mobilité sera réalisée d'un point de vue longitudinal et transversal. L'analyse longitudinale permet de suivre le comportement de générations et de les comparer entre elles, et l'analyse transversale permet de comparer les différentes classes d'âge à un même moment. Ces analyses seront conduites sur des segments de la population à l'intérieur desquels une même caractéristique est commune à l'ensemble des individus. En plus des caractéristiques générales démographiques de l'âge et de la génération, l'appartenance à un groupe ethnique, l'ethnicité, le rang au niveau du ménage, la taille du ménage, la localisation résidentielle ainsi que l'offre de transport en commun au niveau de la résidence seront des caractéristiques qui pourront être utilisées pour segmenter la population.

4- Décomposer les effets d'âge, de période et de génération

Cette phase du projet est liée au deuxième objectif. Il est très ardu de départager les effets de l'âge, de la période et de la génération puisque ces variables sont intrinsèquement liées. Les effets ne peuvent donc pas être décomposés par une simple méthode de régression linéaire. Deux méthodes sont reconnues pour avoir de meilleurs résultats (Grégoire, 2011) : la méthode conventionnelle GLM (Mason, 1985) et la méthode de l'estimateur intrinsèque IE. Les méthodes seront utilisées pour décomposer les effets d'âge, de période et de génération, puis comparées pour discerner les différences et ainsi avoir une meilleure compréhension de l'influence des variables.



5- Quantification des variables explicatives

Des poids seront attribués aux variables selon les effets qu'elles ont sur les dimensions du comportement de mobilité. Différentes variables indépendantes seront définies, liées notamment à la part modale, le nombre de déplacements quotidiens et la distance parcourue. Cette étape est liée au quatrième objectif spécifique.

6- Combiner les méthodes de projection démographique à des méthodes multiniveaux

Comme l'appartenance de l'individu à un groupe a également des effets sur le comportement de mobilité, il est impératif de combiner des méthodes multiniveaux aux méthodes démographiques pour avoir un modèle de prévision de la demande de transport précis dans ses estimations. La quantification des effets des variables explicatives sera donc modulée selon l'appartenance de l'individu à son ménage et à son territoire. L'analyse descriptive ainsi que les ressources littéraires permettront de dégager comment les cadres dans lesquels les individus évoluent influencent les comportements de mobilité. Des tests sur les échantillons de données viendront soutenir et affiner les choix faits quant à la modulation du poids des variables explicatives du niveau individuel selon le cadre. Cette étape permet la réalisation du quatrième objectif.

7- Application du modèle

Le modèle sera appliqué sur les ensembles de données traités des cinq dernières enquêtes Origine-Destination effectuées dans la grande région montréalaise pour prévoir les variables dépendantes. L'application du modèle permet de concrétiser une part du dernier objectif.

8- Validation du modèle

Cette phase vient compléter la réalisation du dernier objectif. L'application du modèle sur plusieurs ensembles de données permettra de voir si la projection des comportements de mobilité correspond à ce que les enquêtes Origine-Destination identifient comme mobilité urbaine pour la grande région métropolitaine. En connaissant les caractéristiques individuelles des répondants et leur pondération dans la population échantillonnée, on peut vérifier si la modélisation effectuée à partir des données propose des parts modales, des nombre de déplacements par personne et des distances parcourues qui sont réellement observées.

3.10.4 Échéancier de réalisation

Le projet de recherche s'étalera sur une période de 5 sessions académiques. Les deux premières ont été généralement réservées pour le suivi des cours. La revue de littérature a été entamée pendant la deuxième session. Elle sera approfondie pendant l'été et l'automne afin que le projet reste actuel. La construction du modèle et son application se fera à partir de l'été. Le projet devrait être terminé au printemps 2013.

Tableau 11. Échéancier de réalisation du projet C.Plouffe

Activités	2011	2012			2013
	A	H	E	A	H
Exigences Académiques					
Suivi des cours réguliers					
Séminaire <i>gestion de base de données</i>					
Activités					
Revue littéraire					
Traitement de données					
Analyse descriptive					
Décomposition des effets					
Quantification des variables					
Combiner les méthodes					
Application du modèle					
Validation du modèle					
Biens livrables					
Écriture du mémoire de maîtrise					
Présentation des travaux					

3.10.5 Impacts de la recherche

Ce projet de recherche a le potentiel de contribuer à l'amélioration des méthodes de prévisions de la demande en clarifiant les effets respectifs de différentes variables dans les grandes tendances observées.

Plus précisément, le projet permettra de mettre de l'avant de nouvelles variables explicatives dans l'évolution des comportements de mobilité. L'application du modèle âge-période-cohorte-caractéristique, couplé avec des méthodes multiniveaux, sur la population de la grande région de Montréal vient compléter l'aspect novateur du projet.

3.11 Méthodologie d'estimation de la génération de déplacements aux lieux de résidence

- Étudiante : Christine Théberge-Barette (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : en cours (fin prévue : août 2013)
- Financement : Chaire Mobilité

3.11.1 Introduction

De nombreux développements résidentiels sont en cours ou à venir dans la région de Montréal. Pour l'instant, aucun modèle fiable n'existe pour prévoir les comportements de mobilité qu'adopteront les gens qui aménageront dans ces nouvelles unités. Effectivement, la génération de déplacements (le nombre de déplacements qui seront générés par une nouvelle habitation) est estimée à l'aide de modèles simples de régression disponibles dans un guide publié par l'institut des ingénieurs en transport (ITE). Ceci correspond actuellement à l'état de la pratique bien que les limitations de cette approche soient bien documentées. Par exemple, une critique de la méthode du *Trip Generation Handbook* (4), proposée par l'ITE à été élaborer par Reid (1982).

Le but de ce projet de recherche est de concevoir un modèle qui tient compte de plusieurs paramètres pour prévoir de façon plus réaliste les déplacements qu'effectueront ces personnes et les impacts de ces déplacements sur le réseau routier, sur le réseau de transport collectif ainsi que sur les stationnements. Cette information est d'ailleurs cruciale pour déterminer les capacités optimales de stationnement ainsi que les modifications à apporter à l'offre de transport. Puisque généralement, il est aisé de connaître d'avance les attributs des unités de logement qui seront construites mais pas nécessairement la composition des ménages qui iront s'y installer et qu'il existe aussi une forte corrélation entre les attributs d'une unité de logement et le type de ménage qui ira y habiter, le modèle sera élaboré en fonction du type de logement (utilisé comme variable proxy du type de ménage). De cette façon, il sera plus facile de prévoir la demande en déplacements générés par différents ensembles d'unités de logement, un complexe de condos par exemple.

3.11.2 Revue de littérature

Il existe plusieurs types de modèles de régression. Douglas et Lewis en détaillent trois dans leur série de quatre articles *Trip Generation Techniques* (1970). Les auteurs expliquent et commentent les possibilités et limites des modèles par la méthode des moindres-carrés par zone, par ménages et par variables catégorisées (*dummy*). Dobson et McGarvey (1977) ont comparé deux modèles désagrégés de génération de déplacements; par variables catégorisées et de régression. Ils concluent que les deux modèles représentent également la génération moyenne de déplacements. Par contre, le modèle de régression est plus fiable quand les déplacements des ménages sont très élevés, mais le modèle par variables catégorisées est beaucoup plus simple d'utilisation (Dobson et McGarvey, 1977). Hoel et al. (2006) ont testé plusieurs types de méthodes pour obtenir le taux de génération de déplacements pour 9 régions urbaines : par comptage, par enquête ménage, avec la méthodologie du *Trip generation handbook* (ITE, 2004), et avec le modèle régional de taux de génération de déplacements. Ils ont déterminé que les trois premières méthodes donnaient un résultat semblable mais qu'il fallait faire une étude de sensibilité lorsqu'il y a emprunt de données comme le requiert l'utilisation des deux derniers modèles. Krizek (2003), dans son article sur



l'influence de la densité du voisinage (NA), commente la relation entre le déménagement et le changement de comportement de mobilité en relation avec le nouveau NA.

Il est très important de bien identifier les variables explicatives dans l'élaboration du modèle. Effectivement, dans le modèle développé par Roorda et al. (2008) pour comparer le comportement de mobilité des habitants de Montréal et de Toronto, les variables jugées significatives étaient différentes pour les deux villes. En effet, chaque milieu a ses particularités et il est important d'évaluer l'influence de chacune des variables par rapport à l'endroit étudié.

L'accessibilité au service de transport en commun et la qualité du service offert est un paramètre important dans le développement d'un modèle. Green (2008) a conclu que les variables d'accessibilité peuvent être incluses de façon désagrégée au modèle traditionnel de génération de déplacements afin de le bonifier.

3.11.3 Problématique

Les modèles de génération de déplacements typiquement utilisés pour faire ces estimations sont issus d'un guide publié par l'institut des ingénieurs en transport (ITE) le *Trip Generation Handbook*. Ce guide rassemble différentes données témoignant du nombre de déplacements générés par différents types de lieux en fonction d'une seule variable considérée significative (nombre d'étudiants pour une université par exemple). Faute de mieux, ce modèle permet d'estimer les déplacements générés, mais comporte souvent une grande erreur, n'est pas nécessairement adapté au contexte montréalais et ne permet pas de tenir compte des propriétés du voisinage d'implantation (densité, niveau d'offre de transport, etc.). En outre, de nombreux développements à haute densité sont présentement en cours de construction et plusieurs sont à venir à Montréal. Effectivement, le Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement (PMAD) a comme objectif d'augmenter la part modale du transport en commun de 30% d'ici 2021. Pour ce faire, le PMAD a rédigé un plan d'aménagement misant sur les TOD (*transit oriented development*), un objectif étant d'orienter 40% de la croissance des ménages vers les TOD. Il est donc impératif de prévoir la charge additionnelle de déplacements sur les routes et le réseau de transport collectif afin de répondre à cette nouvelle demande.

De plus, il existe un manque de données précises pour évaluer les impacts d'un déménagement dans un nouveau quartier. En effet, des gens qui déménagent dans un nouveau développement résidentiel partent de quelque part. Ils adopteront par ailleurs de nouveaux comportements de mobilité qui auront une incidence sur l'utilisation des réseaux et systèmes de transport aux deux endroits.

3.11.4 Objectif général

L'objectif général de ce projet de recherche est d'obtenir un modèle de prédiction des déplacements prenant en compte plusieurs paramètres jugés significatifs comme par exemple la superficie, le prix et l'emplacement du futur logement, la distance par rapport au centre-ville et la proximité et la qualité du transport en commun. De plus, pour une plus grande facilité d'application, le modèle devra prendre en compte des variables concernant le type de logement et non les caractéristiques des personnes vivant dans ces logements, qui ne sont pas a priori connues.



3.11.5 Question de recherche, objectifs spécifiques et hypothèses scientifiques

Question de recherche

Comment évaluer les déplacements générés par la création de nouvelles unités d'habitation dans la grande région de Montréal ?

Objectifs spécifiques

1. Définir les variables explicatives de la génération des déplacements
2. Raffiner le modèle actuel de génération de déplacements
3. Mettre en place une méthodologie de collecte de données aux lieux d'habitation pour fins de validation et d'enrichissement du modèle

Hypothèses scientifiques

Hypothèse 1 : Les nouvelles habitations résidentielles ont un impact sur la demande de transport soit routier, TC ou les deux.

Hypothèse 2 : La possession automobile des personnes va augmenter en fonction de la distance entre le domicile et le centre-ville.

Hypothèse 3 : Il existe une corrélation entre les propriétés d'une unité de logement, de son voisinage, du niveau de service des différents modes de transport et le type de ménage qui ira s'y installer.

Hypothèse 4 : Il existe une corrélation entre les propriétés d'une unité de logement, de son voisinage, du niveau de service des différents modes de transport et les comportements de mobilité qui seront adoptés par les résidents.

Réfutabilité des hypothèses : Les hypothèses seront testées avec des tests statistiques et seront acceptées ou rejetées selon la significativité des résultats. Les tests statistiques détermineront quelles variables seront prises en considération par le modèle de génération de déplacements

3.11.6 Originalité

Il existe seulement un modèle pour prévoir les déplacements générés par un changement d'utilisation du sol. Il s'agit de la méthode décrite dans le *Trip Generation Handbook* (ITE). Présentement, la méthode est appliquée peu importe l'emplacement (campagne, centre-ville, banlieue), ce qui fait que l'erreur du modèle est très grande et la méthode peu adaptée pour la prédiction des déplacements générés par les nombreux développements résidentiels à venir dans la région de Montréal.

Le développement d'un modèle comportant des variables explicatives significatives permettra de faire des études d'impacts de génération de déplacements plus précises pour prévoir l'impact des nombreux développements résidentiels à venir dans la région.

De plus, la demande d'un tel modèle se fait sentir de la part de la Ville de Montréal et de différents autres professionnels en transport qui sont souvent interpellés pour estimer la demande de transport qui résultera de l'ajout de nouvelles habitations ou lieux d'activités.



3.11.7 Activités et méthodologie

Données

Ce projet s'appuie sur les données des enquêtes origine-destination (O-D) qui permettent de caractériser les comportements de mobilité des personnes. Si possible, le registre foncier du Québec sera utilisé afin d'associer des comportements de mobilité à des unités de logement. Les recensements canadiens contiennent aussi certaines données sur les unités de logement qui pourront être mises à profit aussi pour valider les profils de la construction résidentielle dans la région.

Méthodologie

Combiner les données d'enquêtes O-D avec les données de valeurs foncières

Le but étant de construire un modèle de génération de déplacements pour le type de logement, il faudra établir un lien entre le type de résidence et le comportement de mobilité des personnes y habitant. L'enquête O-D nous informe sur les déplacements et caractéristiques des ménages et le registre foncier nous informe sur le type d'unité de logement et fournit des détails sur certaines de ses propriétés. La situation idéale est de pouvoir associer ces deux ensembles de données à l'aide de l'adresse. Si ceci n'est pas possible, d'autres méthodes de fusion seront utilisées.

Définir des variables explicatives

En combinant les données de l'enquête O-D et du registre foncier, il sera possible d'identifier les variables qui pourraient décrire le modèle. La significativité des variables sera testée et seules les variables jugées significatives seront conservées.

Élaborer un modèle de génération des déplacements en fonction des caractéristiques des unités résidentielles

Suite à la sélection de variables explicatives, le modèle pourra être défini. Selon la disponibilité des données, le modèle sera estimé avec des données historiques et validé avec les données de la plus récente enquête O-D. De nouvelles collectes de données pourront aussi être réalisées afin de valider le modèle estimé avec les données les plus récentes de mobilité.

Affectations modales des déplacements

Avec des études précédentes et les données d'enquête O-D, il sera possible d'intégrer au modèle non seulement le nombre de déplacements, mais aussi leur répartition selon les différentes modes de transport.

Élaboration d'une méthodologie de collecte de données

Une méthodologie de collecte de données sur les comportements de mobilité des gens emménageant dans de nouveaux développements résidentiels devra être élaborée dans l'optique de la validation et l'enrichissement du modèle. Les questions devront être réfléchies pour qu'elles soient utiles dans ce sens.

3.11.8 Échéancier

La maîtrise s'étendra sur deux ans (5 sessions) soit de l'hiver 2012 à l'été 2013. Les cours obligatoires seront suivis en 2 sessions (hiver 2012 et automne 2012). Dès l'été 2012, le projet de



recherche débutera avec la manipulation des données O-D et du registre foncier. Les variables explicatives de la génération de déplacements seront aussi identifiées.

Tableau 12. Échéancier du projet de C. Théberge-Barette

Activités	Année 1			Année 2		
	H12	E12	A12	H13	E13	A13
Suivi de cours						
Revue de littérature						
Combiner les données O-D et valeurs foncières						
Définir des variables explicatives						
Élaborer un modèle de génération des déplacements						
Affectations modales						
Élaboration d'une méthodologie de collecte de données						
Présentation AQTR						
Rédaction du mémoire						

3.12 Valorisation des données de la carte OPUS

- Étudiants : 1) Jean-Sébastien Marcotte (maîtrise) – études suspendues en décembre 2011 et 2) Karl Labrie (maîtrise – amorce en septembre 2012)
- Supervision : Morency et Trépanier
- État : en préparation (septembre 2012)
- Financement : Chaire Mobilité

Cette activité consiste à analyser, de façon exploratoire et non exhaustive, des données provenant du système de perception par carte à puce de la STM. Dans un premier temps, les transactions associées à la ligne 141 sont examinées afin d’analyser la stabilité des comportements des usagers, et également proposer un algorithme de détection des arrêts dans ce système où il n’y a pas de référence spatiale associée aux transactions. Enfin, une analyse de l’influence des conditions météorologiques sur la fréquentation du réseau de transport collectif est effectuée. Les résultats sont présentés en annexe, dans un article qui sera présenté à la *Conference on Advanced Systems for Public Transport (CASPT)* qui se tient à Santiago, au Chili, en juillet 2012.

3.12.1 Système d’information

Les bases de données du système OPUS qui nous sont disponibles contiennent 342 millions de transactions pour une période de 7 mois (octobre à avril 2011 inclusivement). À des fins d’exploration, il a été jugé préférable d’utiliser un échantillon.

Le choix est d’extraire les transactions de tous les usagers qui ont emprunté une course particulière de la ligne 141, soit la ligne qui dessert l’axe Jean-Talon, du Métro Saint-Michel au Métro Honoré-Beaugrand. La course qui a été choisie est la course numéro 2210165 du 1er octobre 2010, comprise dans la plage horaire de 7:57 à 8:51 dans la direction ouest, soit d’Honoré-Beaugrand à Saint-Michel. Au total, 103 cartes avaient effectué des transactions sur cette course. Par la suite, les données de ces 103 cartes du 1er octobre 2010 au 30 novembre 2010 ont été extraites, pour un échantillon de 21 307 transactions.

Tableau 13. Échantillon utilisé pour l’analyse

Nombre d’usagers	103
Nombre de transactions	21307
Nb moyen de transactions par usager	206,86
Nb moyen de jours de déplacement	34,26
Nb moyen de transactions par jours	3,39
Titre Mensuel Ordinaire (% des transactions)	65,39%
Titre Mensuel Réduit (% des transactions)	20,72%
Titres Autres (% des transactions)	13,89%
Ligne la plus fréquemment utilisée	141 (30%)

Cette partie présente des résultats préliminaires visant à valider la pertinence et les potentialités des différentes méthodes d’analyses. Avant de procéder aux analyses, une exploration générale des données est effectuée. Cette étape vise à faire ressortir quelques pistes et observations générales pour servir de guide lors des analyses. Pour ce faire, il y a l’analyse de statistiques globales (moyenne d’heures, écarts types, etc.) et une reconstitution des journées de déplacements pour quelques usagers. Ces explorations permettent de faire ressortir trois grandes pistes :

- la régularité semble plus forte lorsqu'analysée de façon journalière que par type de journée (semaine et fin de semaine);
- il ne semble pas y avoir de lien entre la régularité dans les heures de déplacements et le nombre de déplacements totaux qu'un usager effectue sur le réseau;
- certains usagers semblent avoir une chaîne de déplacements qui se reproduit après quelques semaines, il semble donc important de ne pas rester trop global dans les analyses pour ne pas passer outre ces régularités.

3.12.2 Analyse spatio-temporelle

Les données provenant des cartes recensent la ligne et l'heure de la transaction. La ligne peut donc être considérée comme une donnée spatiale et l'heure comme étant une donnée temporelle. Il est possible de mettre en relation ces deux facteurs pour analyser la stabilité des passagers en fonction de leur stabilité dite « spatio-temporelle » (la ligne représentant ici l'aspect spatial). Les facteurs peuvent être aussi abordés de manière indépendante. Ces données sont calculées en effectuant des tableaux croisés dynamiques sur les données pour faire ressortir la période d'heure la plus fréquemment utilisée et la ligne la plus fréquemment utilisée. Un ratio de stabilité est par la suite calculé en faisant un rapport de l'occurrence la plus fréquente sur le nombre de transactions total selon la donnée analysée, comme les premiers déplacements seulement dans les cas suivants. Ces ratios peuvent être calculés selon l'échelle d'analyse souhaitée : semaine, fin de semaine, journée, heure et période d'heures au niveau de tous les passagers, les tarifs réduits, tarifs standards ou tout autre type d'abonnement. Il est aussi possible d'effectuer cette analyse au niveau des chaînes de lignes empruntées.

Les deux tableaux suivants illustrent la stabilité temporelle et spatiale des premiers déplacements de la journée pour les 103 usagers, au niveau de la semaine et de la fin de semaine. Les classes représentent les pourcentages de déplacements effectués dans la même plage horaire ou sur la même ligne. La classe supérieure regroupe donc les usagers ayant effectué entre 80% et 100% de leurs déplacements dans la même plage horaire ou sur la même ligne. Par exemple, pour la semaine complète, environ 21% des usagers ont effectué de 80 à 100% de leurs déplacements durant la même plage horaire.

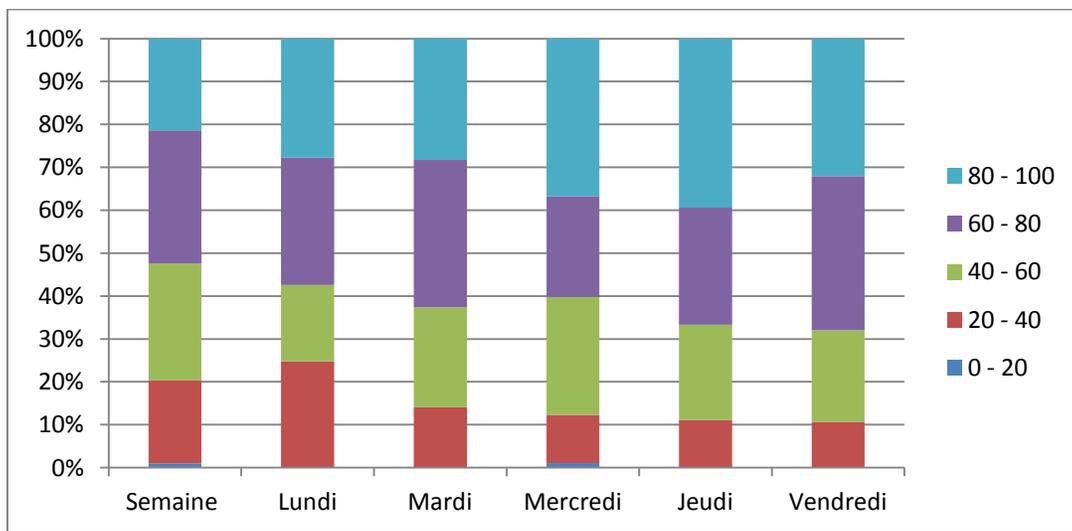


Figure 54. Représentation de la stabilité temporelle (Premiers déplacements)

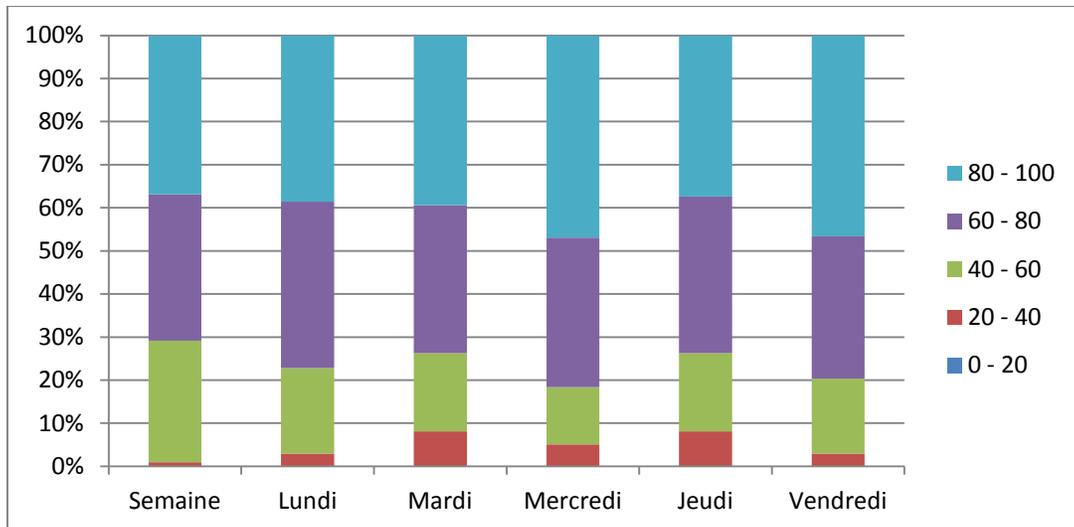


Figure 55. Représentation de la stabilité spatiale (Premiers déplacements)

Les résultats précédents sont intéressants, mais ne permettent pas de mesurer si ce sont les mêmes usagers qui sont stables temporellement et spatialement ou si les gens qui sont stables dans une des deux dimensions ne le sont pas dans l'autre. Pour mesurer ce phénomène, il est possible de mettre en relation les données de stabilité spatiales et temporelles d'un même usager. Il est donc par la suite possible de mettre en relation ces données en les affichant graphiquement. La Figure 56 représente graphiquement la stabilité « spatio-temporelle » de ces 103 usagers pour la semaine de travail soit du Lundi au Vendredi, toujours pour les premiers déplacements. Dans ce tableau, chacun des points représente un des 103 usagers. L'axe des Y représente sa stabilité spatiale et l'axe des X sa stabilité temporelle. Par exemple, le point situé en haut à droite représente un usager qui a effectué ses premiers déplacements en semaine de travail 100% du temps dans la même période d'heure et 100% du temps sur la même ligne. Il est possible de remarquer que la stabilité spatiale semble plus importante que la stabilité temporelle. Bien que non exploité à ce moment, il est possible d'utiliser ce type d'analyse comme base pour le découpage en groupes des usagers selon leur type de stabilité. Tout comme les graphiques précédents, il est possible de représenter les données selon les échelles souhaitées : semaine, fin de semaine, journées, heures et périodes d'heures au niveau de tous les passagers, les tarifs réduits, tarifs standards ou tout autre type d'abonnement. Il est aussi possible d'effectuer cette analyse au niveau des chaînes de lignes.

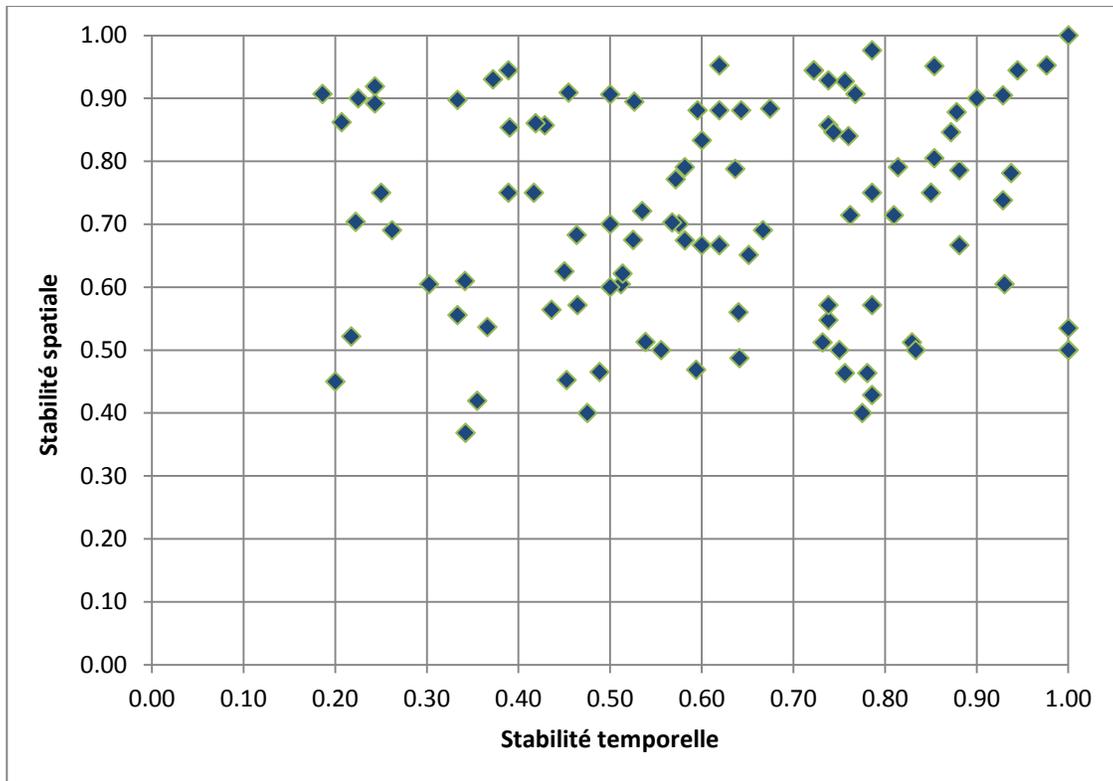


Figure 56. Représentation de la stabilité spatio-temporelle pour les 103 cartes (Premiers déplacements, Lundi au Vendredi)

Il est intéressant de représenter la stabilité « spatio-temporelle » de ces usagers selon une échelle temporelle différente. La Figure 57 représente les usagers au niveau du mercredi et du vendredi. Il est possible remarquer de profonde différences entre les deux journées et de constater un déplacement des points vers le haut/droite du graphique.

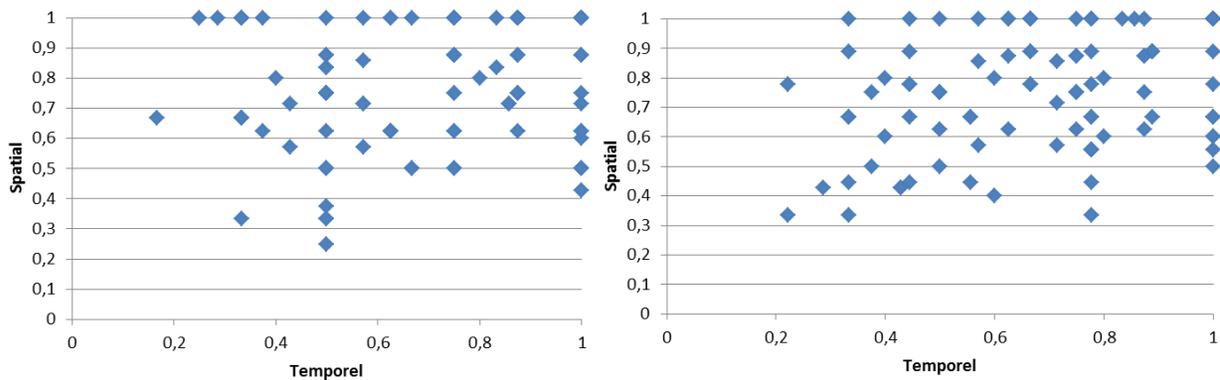


Figure 57. Représentation de la stabilité spatio-temporelle selon la journée (Premiers déplacements, Mercredi et Vendredi)

Les Figure 58 et Figure 52 représentent toujours la stabilité des 103 usagers, mais cette fois c’est l’analyse au niveau de la première chaîne de déplacement qui a été effectuée. La méthodologie est la même, à l’exception que certaines manipulations ont été effectuées. Premièrement, les chaînes de lignes ont été « concaténées » pour obtenir des cellules de type : Ligne 1 – Ligne 2 – Ligne 3... Deuxièmement, les lignes ayant des parcours semblables (express et non express ou autre type de

lignes similaires) ont été remplacées par leur ligne standard. Par exemple, toutes les transactions sur la 467 ont été attribuées à la ligne 67. Il est à noter que la stabilité temporelle est mesurée à partir de l'heure de la première transaction et que les heures des transactions de correspondance sont ignorées. La Figure 52 représente la stabilité « spatio-temporelle » des usagers selon la journée, soit le Mercredi et le Jeudi. Les deux figures soulignent une stabilité spatiale moins importante lorsque l'analyse porte au niveau des chaînes de lignes. L'analyse au niveau des journées permet par contre de constater que les chaînes de lignes sont plus stables au niveau quotidien.

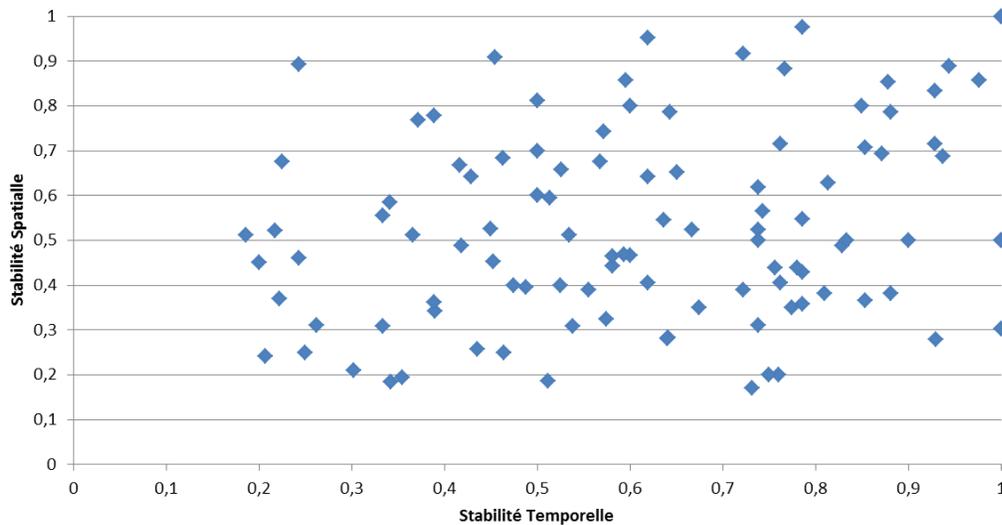


Figure 58. Représentation de la stabilité des usagers selon la première chaîne de déplacements de la journée (Lundi au Vendredi)

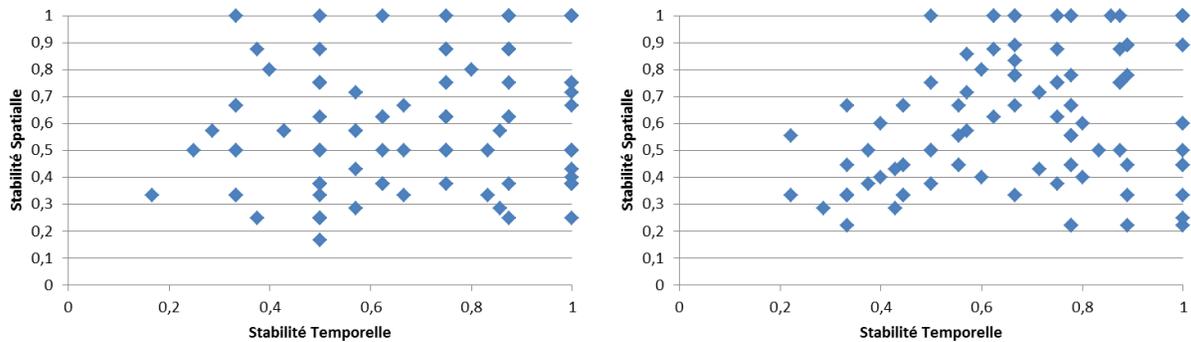


Figure 59. Représentation de la stabilité spatio-temporelle selon la journée (Première chaîne, Mercredi et Vendredi)

3.12.3 Analyse Usager-Ligne

L'analyse Usager/Ligne, consiste à analyser les comportements d'un usager au niveau des lignes que celui-ci utilise pour se déplacer. Il est donc possible d'analyser la stabilité des comportements d'un usager dans le temps, envers lui-même, sur les différentes lignes que celui-ci emprunte.

Pour ce faire, des tableaux ont été constitués pour représenter chacun des usagers et chacune des lignes que ceux-ci ont empruntées sur les deux mois de données. Les données ont été regroupées en période de 15 minutes de 00:00:00 à 11:59:59. Ces tableaux ont été effectués à l'échelle de la

Semaine, Fin de semaine et des journées. À partir du nombre total de déplacements selon la période, il est possible de calculer le pourcentage total et le pourcentage cumulé de transactions qui sont effectuées pour chacune des périodes de 15 minutes.

La figure 8, représente le pourcentage cumulé des transactions d'un usager quelconque sur la ligne 141 selon la semaine et selon les journées. D'importantes variations peuvent être constatées selon la journée. Il est possible de mesurer, grâce à ces données, l'écart à la moyenne (la semaine), de chacune des journées pour mesurer les variabilités dans les déplacements des usagers sur chacune des lignes qu'ils utilisent. Ces valeurs peuvent donc être utilisées comme étant à la base de la mesure de la stabilité des déplacements au niveau d'une analyse usager-ligne.

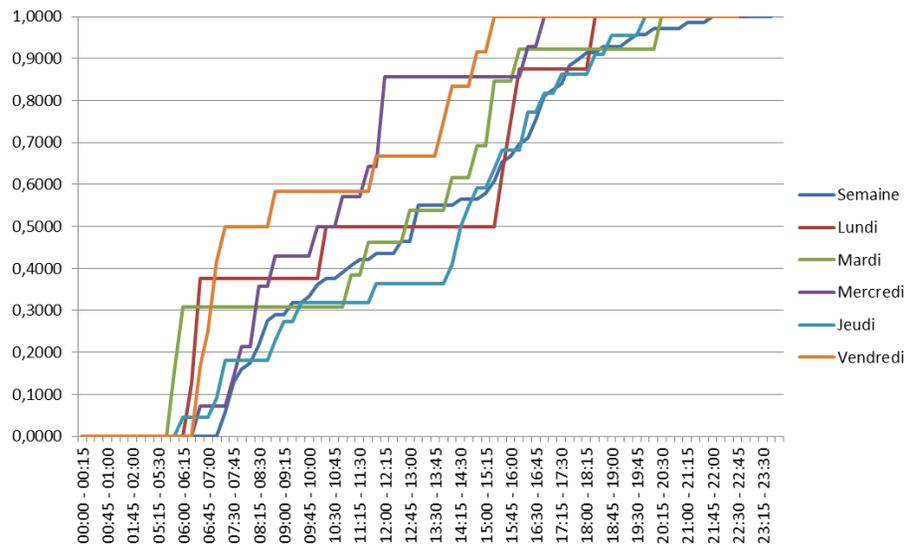


Figure 60. Représentation du pourcentage cumulé des déplacements d'un usager sur la ligne 141

Les données qui sont amassées lors de l'analyse au niveau des usagers-ligne permettent de faire des profils au niveau de l'utilisation des lignes par leur clientèle. En isolant une ligne particulière pour tous les usagers, il est donc possible de savoir pour une telle période de temps, combien d'usagers ont effectués tel nombre de leurs déplacements sur la ligne. Par exemple vers 16h00, 100% des usagers ont effectué entre 0 et 25% de leurs déplacements sur la 141, environ 95% des usagers ont effectué entre 25 et 50% de leurs déplacements sur cette ligne, 80% des usagers ont effectué entre 50 et 75% de leurs déplacements sur cette ligne, 10% des usagers ont effectué entre 75 et 99.99% de leurs déplacements sur cette ligne et 10% des usagers en ont effectué 100%.

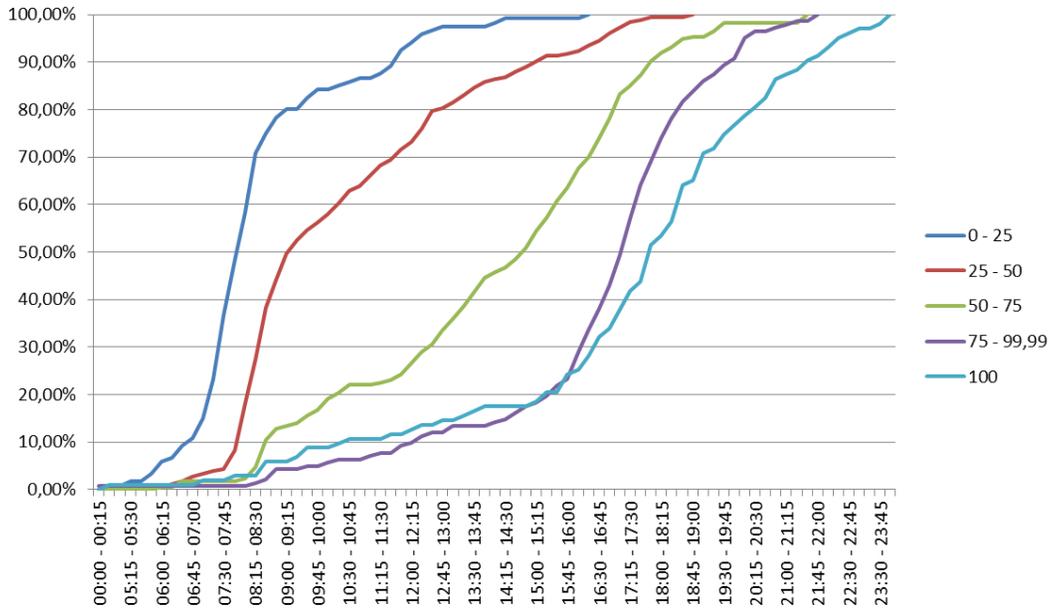


Figure 61. Représentation du pourcentage cumulé des déplacements des usagers

3.12.4 Analyse au niveau des lignes

Les données disponibles permettent aussi de faire des analyses au niveau des lignes. Il est possible de reconstituer les profils de transactions selon la journée. Les données de l'échantillon utilisé ne permettent pas toutefois de comparer au niveau de la course puisqu'il n'y a pas assez de données par course. Des profils de charge permettent alors de comparer la stabilité d'une ligne lors des différentes journées de la semaine. Il sera éventuellement possible de comparer selon le type d'abonnement.

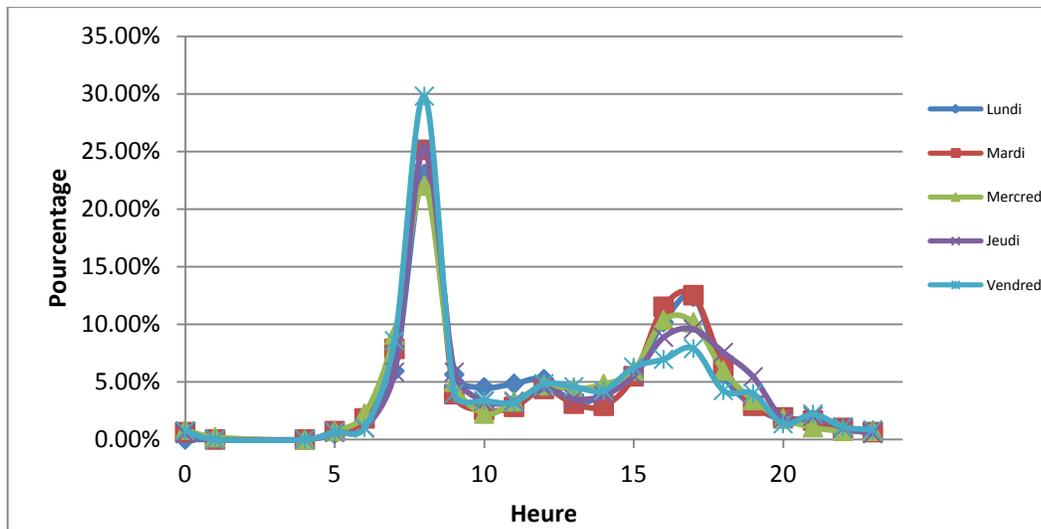


Figure 62. Profil des transactions selon l'heure et la journée de la semaine Ligne 141

3.12.5 Détection des arrêts utilisés

Dans le système actuel de la STM, l'arrêt où l'utilisateur effectue ses transactions n'est pas détecté ni enregistré. Cette situation est potentiellement importante sur les « lignes centrales » du réseau, qui

desservent un grand axe ou qui ont un caractère commercial important qui fait en sorte que les usagers peuvent avoir plusieurs points d'embarquement réguliers. Cette donnée serait toutefois très intéressante lors de l'analyse de la stabilité spatiale des usagers.

Une tentative de détection des arrêts a été appliquée sur les données qui sont disponibles dans l'échantillon. La méthode a été appliquée sur la course 2210165 de la ligne 141. On y retrouve 103 transactions entre 8h00 et 8:47. L'hypothèse de base utilisée ici est que si une transaction est effectuée 30 secondes après une autre transaction, elles ont été réputées faites à des arrêts différents. Bien qu'arbitraire, l'intervalle de 30 secondes a été estimé après une analyse des données GTFS de Google portant sur les temps inter-arrêts de l'horaire par la STM. Il est toutefois impossible de tenir compte, pour le moment, des embarquements faits aux feux rouges ou aux arrêts très proches, il s'agit donc d'une méthode d'estimation sommaire donnant une idée des groupes d'arrêts empruntés.

La Figure 63 représente les résultats obtenus grâce à cette méthode. La méthode retrouve 33 arrêts d'embarquements sur la course (qui en compte 46). La courbe en rouge représente l'emplacement de l'autobus dans le temps. Entre les arrêts 13 et 16, l'autobus semble s'être déplacé plus rapidement.

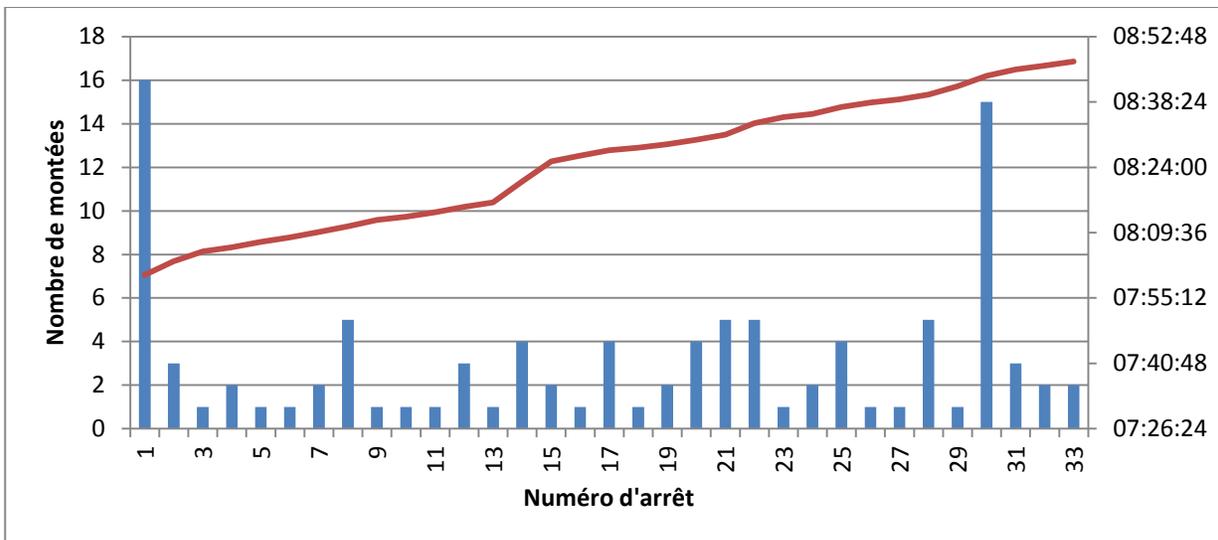
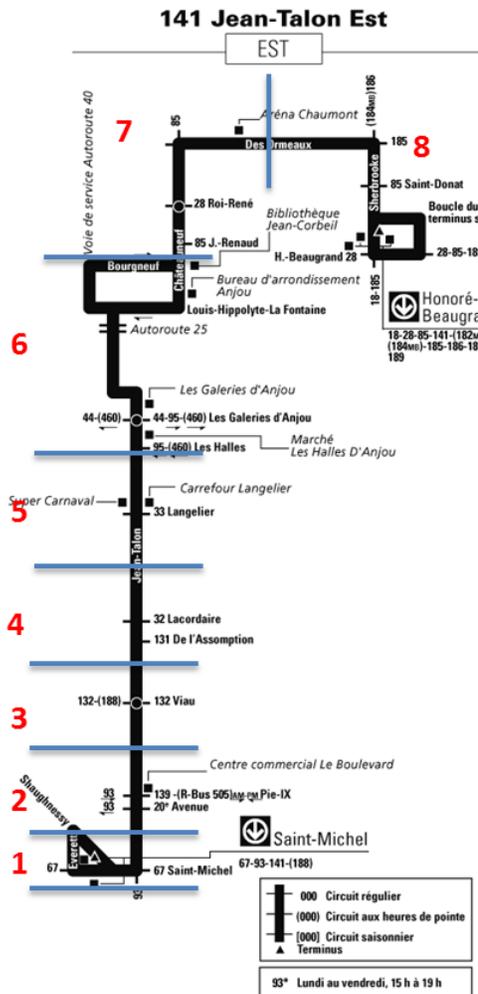


Figure 63. Représentation du nombre de montées selon l'arrêt et l'heure

L'analyse au niveau de la détection des arrêts semble prometteuse, mais cette échelle fait en sorte qu'il y aurait trop d'erreurs lors de l'application de cette méthode à tous les déplacements de ces usagers sur la 141. Il a donc été choisi de diviser la ligne en blocs d'arrêts basés sur les axes principaux que rencontre la 141. Pour réaliser cette division, l'analyse du trajet a été faite selon la connaissance du réseau et en se basant sur les correspondances importantes qui s'offrent aux usagers sur les axes que croise la 141.

La division et l'affectation des arrêts à chacun des blocs sont basées sur les données de temps et distance des arrêts des données GTFS de Google. Les temps entre les axes principaux ont été calculés et divisés en deux pour affecter la moitié du temps entre les deux axes à deux blocs différents. Les résultats sommaires sont présentés ci-dessous.



1	Shaughnessy / Station Saint-Michel
2	Jean-Talon / Pie-IX
3	Jean-Talon / Viau
4	Jean-Talon / de l'Assomption - Jean-Talon / Lacordaire
5	Jean-Talon / Langelier
6	Jean-Talon / les Galeries d'Anjou
7	Châteauneuf / Roi-René - Châteauneuf / des Ormeaux
8	Des Ormeaux / Sherbrooke

Pourcentage	Nombre d'usagers
0 - 20	0,00%
20 - 40	9,71%
40 - 60	21,36%
60 - 80	11,65%
80 - 99.99	2,91%
100	54,37%

Figure 64. Liste des 8 blocs d'arrêts et résultats de l'analyse

3.12.6 Conclusion

Le travail de recherche sur la valorisation des données provenant des systèmes de cartes à puce se poursuit. Le premier objectif vise à développer une meilleure compréhension des comportements d'utilisation du système par les usagers mais celui-ci pourra exiger le développement de procédures d'imputation permettant d'associer les comportements des usagers aux objets du réseau (arrêts, voyages, lignes).



4 Autres travaux pertinents

La Chaire Mobilité est impliquée dans différents autres projets de R&D dont les thématiques sont d'intérêt pour les partenaires. Quelques-uns de ceux-ci sont résumés ci-dessous.

4.1 Outil intégré de collecte, analyse et visualisation de données de mobilité

Projet de doctorat de Pierre-Léo Bourbonnais, Direction : Catherine Morency

Ce projet de recherche est actuellement soutenu par une série de contrats de R&D pour la réalisation d'enquêtes web sur la mobilité notamment :

- Développement d'une enquête web pour la communauté polytechnicienne – soutien du conseiller en développement durable de Polytechnique
- Projets soutenus par le MTQ pour la réalisation d'enquête web dans le cadre des enquêtes de Québec, Trois-Rivières, Sherbrooke,
- Projet soutenu par l'Université de Montréal pour la réalisation d'une enquête auprès de la communauté de l'Université de Montréal

4.1.1 Problématique

Des enquêtes de mobilité de type Origine-Destination sont tenues régulièrement dans plusieurs régions du monde. Dans la plupart des cas, elles se font par téléphone ou par la poste auprès d'un échantillon sélectionné de ménages ou de personnes. Depuis peu, les organisateurs de telles enquêtes explorent la possibilité d'utiliser des versions en ligne de leur questionnaire afin de rejoindre une plus grande part de la population. En effet, certaines cohortes sont de plus en plus problématiques, que l'on pense aux étudiants ou aux jeunes ménages (en 2010, plus de 50% des ménages de 18-25 ans ne possédaient plus de ligne téléphonique résidentielle fixe selon Statistiques Canada).

Par ailleurs, la gestion des bases de données en transport — notamment celles entourant la tenue des enquêtes de mobilité — constitue un véritable casse-tête pour les nombreux intervenants du domaine du transport. Les outils technologiques qui intègrent les trois grandes phases de la gestion de données (la collecte, l'analyse et la diffusion des données) sont rares, voire inexistantes et souvent inadéquats, ce qui se traduit en pertes de temps, en une mauvaise compatibilité des données provenant de multiples sources et en l'utilisation d'outils de visualisation déficients ou dépassés. Afin de faciliter l'intégration de ces trois phases, il est essentiel de créer un outil interactif accessible en ligne et orienté pour le transport qui permettra aux chercheurs de gagner du temps, de présenter des analyses plus précises et plus rigoureuses tout en favorisant une diffusion des données auprès des intervenants du milieu ou du grand public grâce à des modules de diffusion et de visualisation innovateurs.

4.1.2 Objectifs principaux (création d'outils)

- Construire une application en ligne interactive permettant la tenue d'enquêtes de mobilité assurant l'obtention de données fiables et normalisées au moyen de cartes notamment, qui facilite les interviews auprès de tous les répondants, peu importe leurs connaissances techniques ou leur degré de disponibilité ;



- Intégrer un outil de gestion des données qui assure le suivi en continu des enquêtes et qui présente les analyses statistiques d'usage tout en favorisant une connexion avec les données des réseaux routiers et des réseaux de transport collectif ;
- Réaliser un module de diffusion et de visualisation des données améliorant la compréhension des enjeux et des résultats.

4.1.3 Objectifs connexes

Fonctionnalités de géolocalisation de Google Maps

Évaluer la faisabilité d'exploiter les fonctionnalités de Google Maps pour la géolocalisation de différents lieux d'activités lors de la collecte de données de déplacement.

Alternative au questionnaire téléphonique lors du refus

Évaluer l'opportunité d'offrir la possibilité aux répondants qui refusent de participer à l'enquête téléphonique de répondre à un questionnaire, complet (tout le ménage) ou partiel (uniquement le répondant), disponible en ligne.

Alternative au questionnaire téléphonique pour un sous-ensemble de l'échantillon

Évaluer les performances du questionnaire web par une sollicitation directe d'un sous-ensemble de la base de sondage, par courrier. Par le fait même, il sera possible d'évaluer le niveau de réponse de la population en général face à une enquête sur la mobilité conduite sur le web. Des essais de diffusion sur les réseaux sociaux sera entre autre envisagée.

Augmentation du taux d'échantillonnage pour de grands générateurs de déplacements ou ensembles typiquement exclus de l'échantillon

Évaluer l'opportunité d'exploiter le questionnaire web pour augmenter la taille de l'échantillon pour certains générateurs importants de la région (universités et Cégeps, grands employeurs) ou pour des établissements typiquement exclus (résidences universitaires, établissements touristiques ou hôteliers).

Comparaison des échantillons téléphoniques et Web et intégration des données

Faire une analyse comparative des propriétés des échantillons de données recueillis par téléphone et par le Web (attributs des répondants, comportements de réponse, comportements de mobilité). Une méthodologie de fusion des données sera étudiée afin d'être en mesure de mettre en commun des résultats provenant de différentes sources: enquête téléphonique, enquête web complète (tout le ménage), enquête web partielle (répondant) et enquête aux générateurs particuliers.

4.1.4 Méthodologie et niveau de complétion des étapes de réalisation

Les principales étapes de réalisation du projet de recherche sont les suivantes :

1. Revue de littérature sur les méthodes d'enquête, les expériences d'enquêtes multi-modes, l'intégration de données provenant de différentes sources ainsi que la visualisation de données d'enquêtes sur la mobilité. **(en cours)**
2. Adaptation du questionnaire web : généralisation pour collecte de données sur l'ensemble du ménage et alignement des questions sur le script des Enquête-ménages téléphoniques avec formulaire personne ou formulaire ménage. **(réalisé)**

3. Intégration au questionnaire de modules de validation en temps réel des déplacements déclarés (transport en commun: lignes empruntées et compatibilité des horaires, multimode: compatibilité, cohérence, etc.) **(en cours)**
4. Comparaison des géocodes obtenus de Google Maps et de ceux disponibles dans les bases de données de référence pour un échantillon de générateurs de déplacements généralement localisés par le biais de bases de données de référence. Selon les résultats, possibilité de développer une méthode hybride de géolocalisation des lieux de destination couplant les bases de données de référence et les fonctions Google Maps, si requis. **(en cours)**
5. Mise au point du protocole de sélection des répondants, que ce soit en arrimage avec l'opération du centre d'appels téléphonique ou grâce à des outils de suivi des répondants contactés par courriel lors d'enquêtes de type générateur. **(réalisé)**
6. Accompagnement lors de la réalisation des enquêtes et soutien technique lié à l'outil. Monitoring des données recueillies par le Web. **(réalisé)**
7. Analyse des échantillons de données web (questionnaire complet, questionnaire partiel, questionnaire auprès des générateurs) **(en cours)**
8. Analyse comparative des échantillons web et téléphonique : propriétés des répondants, etc. **(en cours)**
9. Intégration d'un module permettant de pondérer l'échantillon en sélectionnant le ou les attributs servant à produire les facteurs d'expansion requis. **(en cours)**
10. Génération automatique des faits saillants à l'intérieur même de l'outil d'enquête en ligne, en tenant compte de la pondération lorsque requis. **(en cours)**
11. Création d'un outil de visualisation automatisé de cartes animées de déplacements illustrant les résultats des enquêtes à l'aide d'un calculateur de chemin intégrant les modes voiture, transport en commun, marche et vélo **(réalisé)**
12. Étude et intégration de méthodes et outils de visualisation permettant une analyse pointue de différents aspects reliés tant au processus d'enquête qu'à la mobilité des répondants **(en cours)**



4.1.5 Enquête web réalisées

Enquête	Période d'échantillonnage	Unité d'échantillonnage	Univers	Entrevues débutées	Entrevues terminées
Poly 2010	3 novembre au 8 décembre 2010	Personne	8618	1932 (22,4%)	1655 (19,2%)
Poly 2011	28 octobre au 10 décembre 2011	Personne	8576	1930 (22,5%)	1679 (19,6%)
Université de Montréal 2011	20 octobre au 10 décembre 2011	Personne	58483	7951 (13,6%)	6610 (11,3%)
Trois-Rivières 2011	5 avril au 15 octobre 2011	Personne	- Échantillon cellulaire - Cégep de Trois-Rivières - Envoi postal	172	146
Québec 2011	20 octobre au 25 décembre 2011	Ménage	749 ménages contactés par envoi postal	139 (18,1%)	83 (11,1%)

4.1.6 Constats préliminaires

À la lumière de ce qui est présenté dans la littérature et grâce aux résultats préliminaires colligés jusqu'à maintenant, il est possible de présenter les avantages et inconvénients de l'utilisation du mode web lors de la réalisation d'enquêtes sur la mobilité:

AVANTAGES		INCONVÉNIENTS	
Description	Tendance	Description	Tendance
↑ / ↑↑: avantages qui devraient s'accroître avec le temps →: avantages qui devraient rester plus ou moins stables		↑ / ↑↑: désavantages qui devraient s'améliorer avec le temps ↓: désavantages qui pourraient devenir encore pires avec le temps	
Coût faible (coût marginal presque nul)	→	Accès Internet et vitesse de connexion inégaux	↑↑
Mode moins contraignant (le moment pour répondre est choisi par le répondant)	→	Facilité d'utilisation du questionnaire par les répondants inégale	↑
Collecte rapide des données	→	Les taux de réponse sont déjà en baisse (solicitation des répondants en forte hausse)	↓
Validation des données en temps réel (moins d'erreur dans les données recueillies)	↑	La concentration des répondants est mise à l'épreuve (multi-tâche)	↓
Adaptabilité et flexibilité (le questionnaire peut s'adapter au répondant et aux réponses précédentes)	↑↑	Le questionnaire doit être adapté au mode web, ce qui rend la comparaison et l'intégration plus difficiles	→
Permet d'étudier le comportement des répondants lors de l'entrevue	↑↑	Les listes de courriels sont de mauvaise qualité et/ou difficile à obtenir	?
Possibilité de modifier le questionnaire rapidement pendant la tenue de l'enquête (pour réduire les ambiguïtés, ajouter de nouvelles questions ou favoriser/réduire certains comportements des répondants)	↑↑	Le recrutement doit souvent être effectué en utilisant un autre mode	?
Rend la gestion de l'enquête moins lourde	↑	Différences techniques d'un répondant à l'autre (navigateur, système d'exploitation, connexion Internet, appareil, etc.)	↑
Permet la diffusion de résultats en temps réel et la présentation de données statistiques préliminaires aux répondants à la fin de leur entrevue	↑↑	Plusieurs biais peuvent être induits	↑
Permet un nombre élevé d'entrevues simultanées (prévoir l'équipement et la connexion adéquate pour répondre aux heures d'achalandage élevé)	↑	La compréhension des questions par les répondants est difficile à évaluer et peut causer des réponses de mauvaise qualité ou des biais selon	→

AVANTAGES		INCONVÉNIENTS	
<i>Description</i>	<i>Tendance</i>	<i>Description</i>	<i>Tendance</i>
		le niveau de scolarité, l'âge ou le profil social	
Possibilité de poser des questions aléatoires	→		
Accroît le niveau d'interactivité	↑↑		

4.1.7 Conclusion et importance pour la recherche

Dans le domaine de la recherche en transport, un des plus grands enjeux demeure celui de l'unification des phases de la recherche. Conséquemment, faciliter la connexion entre les étapes de réalisation d'enquêtes est d'une importance capitale. Grâce à un outil technologique en ligne intégré et interactif visant à mettre en commun et à rendre plus simple et plus rapide les trois grandes phases de la recherche en transport (la collecte, l'analyse et la diffusion des données), les chercheurs et les décideurs auront à leur disposition des indicateurs précis pour évaluer les différents aspects des réseaux de transport sur lesquels ils se penchent.



4.2 Modèles d'activités

Enhancing the modelling of travel demand using an activity-based approach

In French: Contributions à la prévision de la demande de transport par les modèles d'activités

- Farhana Yasmin
- Doctorante
- Département des génies civil, géologique et des mines
- Ecole Polytechnique de Montréal.
- Projet de recherche supporté et financé par le MTQ

Directeurs de recherche: Prof. Catherine Morency et Prof. Matthew J. Roorda

4.2.1 Introduction

Puisque le transport influence la mobilité, le développement économique, l'utilisation du sol, l'environnement, les finances publiques et la qualité de vie, une planification judicieuse est requise. Prévoir la demande de transport implique l'application de modèles souvent complexes qui alimentent le processus de décision en matière d'infrastructures, d'offres et d'organisation spatiale. Afin de soutenir les besoins de planification, les modèles de transport doivent être en mesure d'évaluer les impacts de différentes modifications aux systèmes de transport ainsi que dans la composition de la population faisant usage de ces systèmes. Ils doivent pouvoir capturer le plus justement possible les comportements de mobilité des personnes. À ce jour, les modèles d'activités ont été reconnus comme étant des outils puissants qui permettent une meilleure représentation des comportements individuels de mobilité ainsi que des interactions au sein des ménages. Les chercheurs s'entendent sur le fait que les modèles d'activités seront (sont déjà) la prochaine génération de modèle; quelques améliorations ainsi que des validations diverses doivent être faites.

Cette recherche propose une étude sur les modèles d'activités dans le contexte particulier de la région de Montréal. Elle porte spécifiquement sur les comportements de mobilité des personnes et ménages ainsi que leur évolution à travers le temps. La recherche propose aussi l'expérimentation et l'évaluation d'une composante des modèles d'activités à savoir l'aspect de génération des programmes quotidiens d'activité par le biais d'un outil développé par une équipe de chercheurs de l'Université de Toronto pour le contexte spécifique de la grande région de Toronto. La recherche doit aussi s'intéresser à la synthèse de population i.e. aux méthodes utilisées pour générer des populations désagrégées servant de données entrantes aux modèles de microsimulation.

La recherche s'appuie sur le bagage historique de données recueillies dans le cadre des grandes enquêtes régionales origine-destination réalisées dans la grande région de Montréal ainsi que sur les recensements canadiens.

4.2.2 Contexte

Les modèles de transport ont été développés autour des années 1950 et ont assisté la prise de décision dans le domaine, notamment en ce qui a trait aux investissements dans les infrastructures lourdes. La première génération de modèles est connue sous le concept de modèle agrégé à quatre étapes ou procédure séquentielle classique. Cette approche a été développée pour évaluer les

impacts de grands projets. Ils étaient suffisants pour comparer certains grands scénarios, à une échelle macroscopique. Les changements dans les politiques urbanistique, environnementale et politique, autour des années soixante-dix, se sont traduits par un changement de priorité dans les modèles de transport. Par ailleurs, en raison des enjeux croissants liés à l'étalement urbain, à la dépendance à l'automobile, à la participation croissante de femmes au marché du travail et à l'augmentation de la congestion, les comportements de mobilité se sont complexifiés.

Conséquemment, les approches traditionnelles ont été grandement critiquées en raison de leur incapacité à évaluer les comportements de mobilité et les impacts de certaines décisions sur ceux-ci, ces approches étant statiques, séquentielles et agrégées. Aussi, certaines stratégies plus récentes dans le domaine des transports telles que la gestion de la demande de transport, les systèmes de transport intelligents ou les voies pour véhicules à occupation multiple exigent des outils de mesure plus précis et détaillés que les approches classiques agrégées (Roorda, 2005; Shiftan, *et al.*, 2003). En outre, les chercheurs et praticiens ont cherché de nouvelles approches qui permettent d'évaluer correctement les nouvelles stratégies. Ils ont d'abord tenté d'améliorer les approches classiques en utilisant un meilleur niveau de résolution spatiale. Les modèles désagrégés basés sur la théorie du choix discret ont donc été davantage utilisés (depuis les années soixante-dix). L'idée que la demande de transport est dérivée de la participation à des activités fait évoluer les modèles basés sur les déplacements à des modèles basés sur les activités. Les modèles basés sur les déplacements ne permettent pas de tenir correctement compte des interrelations entre les déplacements et les activités, les contraintes temporelles et les dépendances dans la programmation des différentes activités ou les comportements qui sont à la base des besoins de déplacement. Les modèles basés activités ont émergé dans la littérature autour des années quatre-vingt; ils ont proposé un cadre approprié de modélisation. L'évolution des différentes approches de modélisation est illustrée dans la figure suivante.

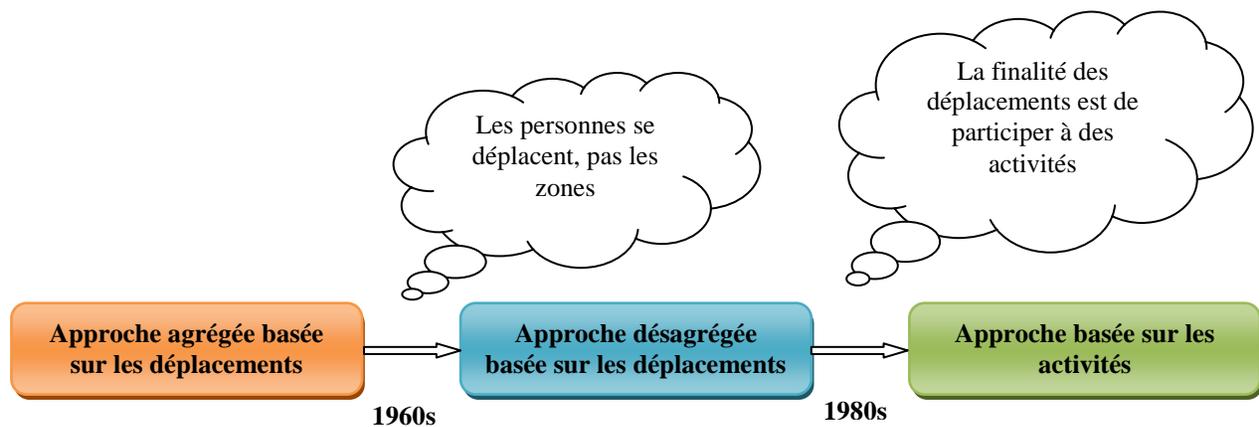


Figure 65: Évolution des approches de modélisation de la demande de transport (Bhat, 1998)

L'importance de l'approche basée sur les activités a déjà été reconnue dans la littérature, bien au-delà de l'approche classique basé sur les déplacements (Bhat & Lawton, 2000; Kitamura, 1997; Kitamura, Pas, *et al.*, 1996; Roorda, 2005; Shiftan, *et al.*, 2003). Cette approche a d'ailleurs été implantée ou examinée dans différentes régions en Amérique du Nord et en Europe. Bien que la modélisation, au Québec, soit reconnue pour ses choix méthodologiques particuliers basés sur de riches ensembles de données provenant des enquêtes Origine-Destination de grande taille, il n'y a pas eu, à ce jour, d'exploration approfondie du potentiel des approches basées activités. Le Ministère des transports du Québec (MTQ) a développé sa propre approche de modélisation, en

collaboration avec des chercheurs universitaires, au début des années quatre-vingt dix. L’approche est totalement désagrégée et s’appuie sur le fichier le plus récent d’enquête origine-destination. Elle est cependant basée sur les déplacements et non sur les activités.

Cette recherche est donc un effort fait pour contribuer à l’amélioration de l’approche actuelle de modélisation québécoise à l’aide des modèles d’activités.

4.2.3 Objectifs et méthodologie

Objectifs spécifiques

Pour aborder la question centrale de recherche, les objectifs spécifiques suivants sont identifiés:

- i. Analyser et modéliser les comportements quotidiens et hebdomadaires des personnes et ménages ainsi que leur évolution à travers le temps dans la grande région de Montréal.
- ii. Développer une méthodologie pour modéliser les distributions des attributs de la génération d’activités dans la région.
- iii. Appliquer le générateur de programmes d’activités TASHA (Travel Activity Scheduler for Household Agents), un des modèles du modèle intégré développé à l’Université, au contexte de la région de Montréal pour valider la transférabilité spatiale du modèle.
- iv. Appliquer différentes approches de synthèse de population dans le contexte de la région de Montréal et comparer les résultats afin de formuler des recommandations pour le contexte spécifique de Montréal.
- v. Formuler des recommandations pour l’amélioration du processus actuel de modélisation à Montréal.

Méthodologie générale

La méthodologie générale du projet de recherche est résumée à la Figure 2.

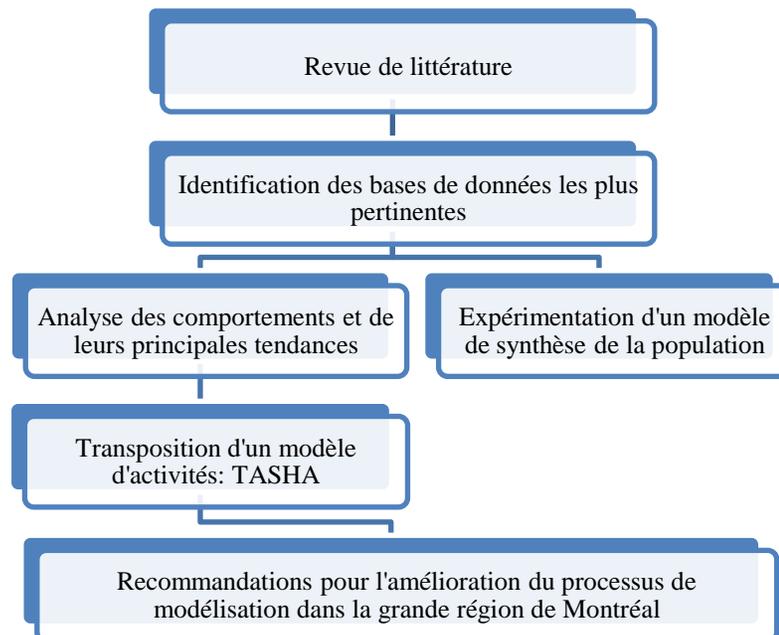


Figure 66: Méthodologie générale de la recherche

Principales sources de données

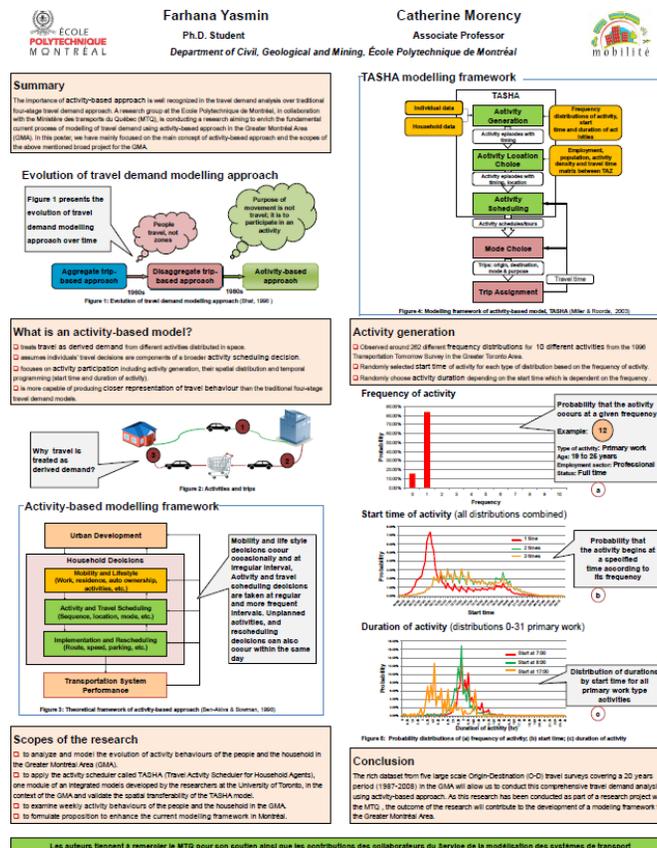
Territoire d’étude: la région de Montréal

Sources de données : enquêtes Origine-Destination de 1987, 1998, 2003 et 2008 et recensement canadien de 2001.

4.2.4 Résultats et contributions potentielles

Une revue de littérature a d'abord permis de formuler le cadre théorique de cette recherche ainsi que d'identifier les forces et faiblesses des approches actuelles de modélisation. Aussi, nous avons tenté d'identifier les lacunes dans la recherche entourant les modèles d'activités afin de contribuer à l'état des connaissances. À cet effet, le cadre de cette recherche a été présenté au 46^e congrès annuel de l'AQTR (Avril 2011, Montréal, Québec). L'affiche présentée à ce congrès est illustrée à la figure qui suit.

Towards an activity-based model for Montréal



Évolution des comportements quotidiens et hebdomadaires de mobilité

Au meilleur de nos connaissances, il y a eu très peu de recherches sur la façon dont les comportements quotidiens et hebdomadaires de mobilité changent à travers le temps. Par conséquent, cette recherche s'intéresse à cet aspect qui a reçu peu d'attention. L'analyse évolutive des comportements de mobilité s'appuie sur les trois dernières enquêtes Origine-Destination tenues dans la grande région de Montréal; elles couvrent une période de dix ans. Les analyses ciblent les attributs des activités incluant la fréquence de réalisation des différents types d'activités (travail, étude, magasinage, retour à la maison, autres) ainsi que leur organisation temporelle (heure de départ, durée). Ces attributs sont examinés selon différentes variables socio-

démographiques (âge, genre, occupation principale, possession d'un permis de conduire, etc.). Les résultats ont été présentés lors du 47^e congrès annuel de l'AQTR organisé en avril 2012 à Québec (voir figure ci-dessous). Éventuellement, cette recherche s'intéressera aux activités hebdomadaires et proposera une méthodologie permettant d'analyser les tendances quotidiennes et hebdomadaires et mieux prévoir la demande future de transport.

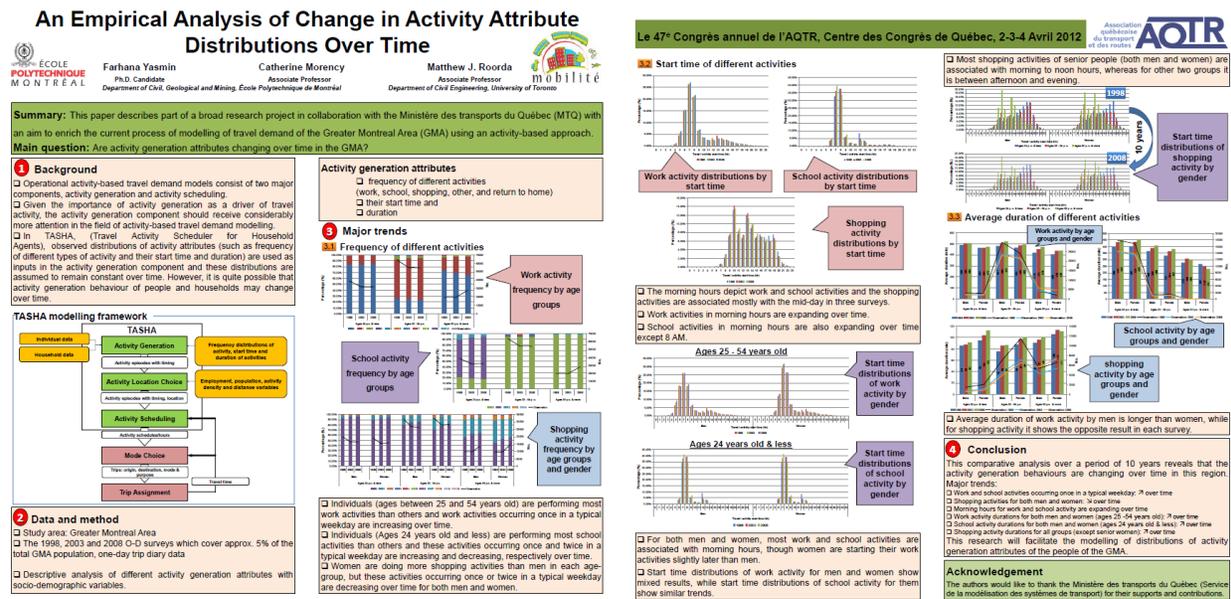


Figure 68: Poster présenté au 47^e congrès annuel de l'AQTR (2012)

Modélisation des distributions des attributs de la génération d'activités

Dans TASHA, les distributions observées des attributs des activités (tel que la fréquence de réalisation des différents types d'activités ainsi que leur heure de départ et durée) sont utilisés comme intrants dans la génération d'activités (Miller & Roorda, 2003) et sont considérées constantes à travers le temps. Cependant, il est possible que les systèmes d'activités des personnes et ménages évoluent à travers le temps. Conséquemment, cette recherche examine les changements dans les attributs des systèmes d'activités dans la région de Montréal et discutent d'explications possibles pour ces changements (tel qu'indiqué dans la section 4.1). Aussi, cette recherche s'intéresse au développement d'une méthodologie permettant de modéliser les distributions observées afin d'améliorer la qualité des prévisions en assurant la modification des distributions qui agissent comme données entrantes, lorsque des tendances sont observées.

Transférabilité spatiale d'un modèle d'activités

Peu de recherches ont porté sur la transférabilité spatiale d'un modèle d'activités. La majorité des recherches sur cet aspect ont plutôt dirigé leur attention sur la génération de déplacements et le choix modal. Ainsi, cette recherche expérimente un modèle d'activité développé à Toronto, TASHA, dans le contexte spécifique de la grande région de Montréal pour valider son applicabilité. Le fait que TASHA soit développé à l'aide des données d'enquêtes sur la mobilité similaires à celles disponibles à Toronto facilite cette expérimentation (Miller & Roorda, 2003; Roorda, *et al.*, 2008). À ce jour, les données de l'enquête OD montréalaise de 2013 et du recensement de 2001 ont été utilisées pour expérimenter TASHA mais les paramètres sont ceux de Toronto. Aussi, des simulations préliminaires ont été exécutées.

Expérimentation d'un modèle de synthèse de population

La revue de littérature a permis d'identifier des logiciels de synthèse de population; PopSynWin est un de ceux-ci et il peut être appliqué à toute région dans la mesure où des données agrégées de population sont disponibles (Auld, et al., 2008; Auld, et al., 2010). Par conséquent, nous pourrions expérimenter ce logiciel dans le contexte montréalais et évaluer la pertinence des fichiers produits.

4.2.5 Agenda de réalisation

Tableau 14. Agenda de réalisation de la recherche

Période		2010		2011			2012		2013		
		Été	Automne	Hiver	Été	Automne	Hiver	Été	Automne	Hiver	Été
Cours											
Revue de littérature											
Examen de synthèse	Examen écrit										
	Examen oral										
Comportements quotidiens et tendances	Analyse descriptive										
	Modélisation des activités										
Application de TASHA	Modélisation de la génération d'activités										
	Transposition de TASHA										
Expérimentation d'un modèle de synthèse											
Rédaction d'articles et conférences											
Rédaction thèse											



4.3 Code de la rue

Un nouveau projet de recherche mandaté par le Ministère des transports du Québec (Service des politiques de sécurité, Direction de la sécurité en transport) s’est amorcé en janvier 2012 et ce pour une période de trois ans. Le projet porte sur l’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. Jean-François Bruneau, professeur associé à l’Université de Sherbrooke (géomatique) et nouvellement inscrit au programme de doctorat en génie civil de l’École Polytechnique, réalise le projet sous la direction du Pr Morency. Le texte qui suit **est extrait du devis**.

4.3.1 Contexte et problématique

Les enjeux de société que sont la lutte aux changements climatiques et l’adoption de saines habitudes de vie amènent les administrations à repenser les transports et à développer et promouvoir des modes de déplacement qui correspondent davantage aux préoccupations du moment. Il est donc plausible d’envisager que la promotion de l’utilisation des modes de transport alternatif à l’automobile par les administrations municipales et les ministères, alliée aux réalités démographiques du Québec (notamment le vieillissement de la population) favorisera une augmentation dans le nombre de déplacements des usagers dit vulnérables, sur le réseau routier québécois.

Le Québec n’a pas de document d’orientation, de politique, de lignes directrices qui énoncent une approche globale de la gestion des déplacements sécuritaires des usagers vulnérables (piétons, cyclistes, personnes à mobilité réduite, aveugles et amblyopes, etc.). À l’image de certaines administrations européennes, le ministère des Transports du Québec souhaite développer une vision de planification intégrée, inspirée de la démarche du « Code de la rue » afin de favoriser les déplacements actifs sécuritaires des usagers vulnérables tout en diminuant leur exposition au risque. Une démarche qui tient en compte les besoins de l’ensemble des usagers de la route, et particulièrement ceux des usagers les plus vulnérables.

Bien que les cyclistes et les piétons fassent partie des usagers vulnérables, les clientèles dites vulnérables sont très nombreuses. On peut par exemple penser aux personnes ayant des incapacités à la marche, aux enfants qui jouent dans la rue ou qui se rendent à l’école, aux parents qui poussent un landau, aux personnes âgées qui se déplacent en triporteur ou en quadriporteur, ainsi aux personnes handicapées qui emploient un fauteuil roulant motorisé, ou que la perte de l’usage de la vue ou de l’ouïe rend plus vulnérable aux risques d’accident.

Le projet de recherche vise donc à évaluer le potentiel d’application d’une démarche “Code de la rue” pour le Québec et à identifier les enjeux et stratégies liés à sa mise en œuvre. Le projet soutiendra le Ministère dans ses efforts d’élaboration d’une nouvelle vision québécoise du partage de la route et de recommandations quant à la planification des aménagements routiers qui considèrent les principes d’accessibilité universelle, soit qui favorisent la sécurité de l’ensemble, en tenant en compte des besoins particuliers des uns, sans nuire aux déplacements des autres.

4.3.2 Objectifs

Le projet vise à évaluer le potentiel d’application d’une démarche « Code de la rue » pour le Québec, démarche qui vise notamment à :



- Promouvoir l'intégration de la gestion de la demande dans la planification et la gestion de l'infrastructure publique;
- Améliorer la sécurité des déplacements des usagers vulnérables.

Les objectifs spécifiques du projet de recherche sont :

- En se référant aux expériences européennes qui ont opté pour la démarche « Code de la rue », améliorer les connaissances par rapport aux éléments clés à considérer dans le cadre de la mise en place d'une telle démarche au Québec (consultation, contexte politique, réglementation, etc.);
- Élaborer une démarche « transversale » d'aménagement des infrastructures urbaines, qui positionne le rôle et les liens entre les acteurs (usagers, techniciens, élus), l'importance de la concertation et de la collaboration, et qui illustre toutes les étapes d'un processus d'aménagement cohérent, incluant la planification, la réalisation, le suivi et l'évaluation des mesures;
- Mettre de l'avant des solutions vers un aménagement du réseau plus sécuritaire pour les déplacements des usagers vulnérables, notamment par l'identification des types d'aménagement et des paramètres de l'environnement routier propices aux déplacements actifs et alternatifs, et qui assurent la sécurité des usagers vulnérables (piéton, cycliste, personne à mobilité réduite, etc.) qui tiennent compte de leur faisabilité en fonction du contexte québécois de circulation et des rigueurs hivernales
- Réaliser un guide des bonnes pratiques québécoises illustrant des exemples concrets d'aménagement à l'intention des clientèles vulnérables (piéton, cycliste, personne à mobilité réduite, aveugle/amblyope, enfant, aîné, etc.) qui tient à la fois compte des besoins particuliers (ex. accessibilité universelle), et des facteurs d'intégration et de mixité des clientèles (cohabitation et partage de la route).

5 Rayonnement

Cette section fait état de différentes activités de la Chaire depuis mai 2011 ainsi que de publications pertinentes. Cette liste n'est pas exhaustive.

5.1 Activités de rayonnement

Morency, C. Participation au comité scientifique du Forum vies mobiles de la SNCF en avril 2012. Détails sur le Forum disponibles ici : <http://forumviesmobiles.com/>.

Morency, C. Conférencière invitée à la quatrième séance du Séminaire Prospective du Grand Paris : 12 janvier 2012 – Répartition spatiale et besoins de déplacement.

Morency, C. Conférencière invitée au Symposium Forward Motion: Advancing Mobility in California & Quebec, au Art Center College of Design, Pasadena, Californie, Novembre 2011

Morency, C. Membre de la Table d'expertise Transport Collectif et de la Table d'expertise Mobilité durable de l'Association québécoise du transport et des routes.

Morency, C. Conférencière invitée au 85^e congrès annuel de l'APAQ (Association des propriétaires d'autobus du Québec) tenu le mars 2012 à Laval.

Morency, C. Conférencière au Colloque et tables de discussions « Les défis de la mise en œuvre de la mobilité durable », de l'Association québécoise du transport et des routes, Montréal, décembre 2011

Morency, C. Conférencière au Colloque « Le partage de la rue », de l'Association québécoise du transport et des routes, Montréal, mai 2011

Morency, C. et Trépanier, M. Conférencière au « Car Sharing Alliance Conference » tenue à Montréal, Octobre 2011.

Demers M. Intervenante invitée au Café des sciences : 15 ans et la ville devant soi; une enquête sur les saines habitudes de vie des adolescents, Musée de la Civilisation, Québec, 20 avril 2012.

Demers M. Participation à la table ronde « La convergence des saines habitudes de vie, de la sécurité routière et du développement durable : du possible au nécessaire ». 15e journées annuelles de santé publique, Montréal, 1er décembre 2011.

Demers M. Les pratiques de logistique verte. Conférence prononcée dans le cadre du colloque « Pour une chaîne d'approvisionnement durable », Association québécoise du transport et des routes, Laval, 22 septembre 2011.

5.2 Participation à des conférences

Des représentants de l'équipe de recherche ont participé aux congrès suivants :

- 91th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., janvier 2012 (<http://www.trb.org/AnnualMeeting2012/AnnualMeeting2012.aspx>)

- Godefroy, F., Morency, C. (2012). An estimation of latent cycling trips in Montreal.
- Grégoire, J., Morency, C. (2012). Exploring changes affecting the travel behaviors of seniors.
- 47^e congrès annuel de l'association québécoise du transport et des routes, Montréal, avril 2012 (<http://www.aqtr.qc.ca/index.php/fr/congres-annuel/congres-2012>)
 - Verreault, H, Morency, C. (2012). Des Mou-Chars GPS : Témoin objectif des conditions de circulation;
 - Morency, C., Verreault, H (2012). Ce qu'une simple journée peut faire ou aperçu des impacts du télétravail rotatif
 - Pépin, F., Morency, C. (2012) Les effets collectifs troublants de choix individuels : Le cas des écoles
 - Séance d'affichage : Sioui, L., Nazem, M., Yasmin, F., Demers, J, Godin, A.
- 6th International Symposium on Visualization in Transportation, Chicago
 - Bourbonnais, P.-L., Morency, C. (2011). Web-based personal travel survey: interface and visualization tools
 - Morency, C. Bridging the Gap Between Complex Data and Decision Makers: Example of an Innovative Interactive Tool.
- 9th International Conference on Transport Survey Methods : Scoping the Future While Staying on Track, Chile, Novembre 2011
 - Bourbonnais, P.-L., Morency, C. (2011). Web-based personal travel survey: a demo.
 - Morency, C., Trépanier, M., Valiquette, F., Yasmin, F., Verreault, H. (2011). Measuring trends over 20 years: trip chains vs trips.

La liste des publications issues des travaux de la Chaire sera mise à jour sur le site internet (www.polymtl.ca/mobilite).

5.3 Formation de personnel hautement qualifié

Les étudiants suivants ont terminé avec succès leurs études dans le cadre des activités de la Chaire :

- **François Godefroy**, M.Sc.A. : « Méthodologie de caractérisation du vélopavage et d'estimation du marché potentiel du vélo à Montréal », Janvier 2011, Direction: Morency
- **Jason Demers**, M.Sc.A. : « Méthodologie de collecte et d'analyse de données sur le transport par camion en milieu urbain », Avril 2012, Direction: Morency / Trépanier
- **Audrey Godin**, M.Sc.A. : « L'accessibilité en transport : méthodes et indicateurs », Avril 2012, Direction: Morency



5.4 Activités organisées par la Chaire

- Journée de réflexion et de prospective sur les activités de recherche de la Chaire, rassemblant les étudiants et chercheurs de la Chaire, 15 décembre 2011
- Colloque annuel les 23 et 24 mai 2012 : journée publique (environ 110 participants) et journée réservée aux partenaires et chercheurs de la Chaire.

6 Références

- A. Douglas, et R. J. Lewis. Trip generation techniques. *Traffic Engineering and Control*, vol. 12, no 7, pp 362-365, 1970.
- AECOM Consultants. Portrait sommaire du transport routier dans le Grand Montréal. Document de référence. Communauté métropolitaine de Montréal, Montréal, 2011.
- AMT (2008). Étude d'impact sur l'environnement : Projet du Train de l'Est. Québec: 368
- Armoogum, J., Madre, J., & Bussière, Y. (2009). Uncertainty in long term forecasting of travel demand from demographic modelling. *IATSS Research* 33(2), 9.
- Association des transports du Canada. Urban transportation indicators. Fourth survey. Ottawa, 2010.
- Auld, J., Mohammadian, A. K., & Wies, K. (2008). Population synthesis with control category optimization. paper presented at the 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation, Athens, Greece.
- Auld, J., Mohammadian, A. K., & Wies, K. (2010). An efficient methodology for generating synthetic populations with multiple control levels. paper presented at the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C, USA.
- Bayart, C., Bonnel, P. et Morency, C. (2009). Survey mode integration and data fusion: methods and challenges. Dans *Transport Survey Methods : Keeping up with a Changing World*. Emerald press.
- BENOIST, A. (2009). Éléments d'adaptation de la méthodologie d'analyse de cycle de vie aux carburants végétaux : cas de la première génération PhD, École nationale supérieure des mines de paris.
- Bertini, R. L. (2006). You Are the Traffic Jam :An Examination of Congestion Measures. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- Bhat, C. R. (1998). Activity-based travel demand modeling. Paper presented at the First Symposium on Integrated Land Use-Transport Models, Portland, Oregon, USA.
- Bhat, C. R., & Lawton, K. T. (2000). Passenger travel demand forecasting. Washington D.C., USA: Transportation Research Board, National Research Council.
- Boarnet, M. G., Kim, E. J. et Parkany, E. (1998). Measuring Traffic Congestion. 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Bodier, M. (1999). Les effets d'âge et de génération sur le niveau et la structure de la consommation. *Économie et statistique*, 324(1), 17.
- Bonnel, P. (2000). Une mesure dynamique des relations entre transports collectifs, étalement urbain et motorisation, le cas de Lyon, 1976-1995, *Cahiers Scientifiques du Transport*, n°38, pp. 19-44.
- Bonnel, P. (2002). Prévission de la demande de transport. Université Lumière Lyon, France
- Bonnel, P. (2002). Prévission de la demande de transport. Université Lumière Lyon, France

- Bonnel, P. (2004). Prévoir la demande de transport, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 425p.
- Bonnel, P. (2004). Prévoir la demande de transport. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France. 425 pages
- Bonnel, P., Gabet, P. (1999). Mesure de l'effet de l'évolution des localisations et de la motorisation sur la part de marché des transports collectifs, LET pour le compte de la DRAST programme PREDIT, Lyon, 160p.
- Bringolf-Isler, B., Grize, L., Mäder, U., Ruch, N., Sennhauser, F. H., & Braun-Fahrlander, C. (2008). Personal and environmental factors associated with active commuting to school in Switzerland. *Preventive Medicine*, 46(1), 67-73. doi: DOI: 10.1016/j.ypmed.2007.06.015
- Browne M. Les avantages d'une approche de chaîne d'approvisionnement pour le transport urbain du fret. Présentation dans le cadre des Treizièmes Entretiens Jacques Cartier, Montréal, octobre 2000.
- Buliung, R. N., Mitra, R., & Faulkner, G. (2009). Active school transportation in the Greater Toronto Area, Canada: an exploration of trends in space and time (1986-2006). *Preventive Medicine*, 48(6), 507-512.
- Burgio, A., & Frova, L. (1995). Projections de mortalité par cause de décès: Extrapolation tendancielle ou modèle âge-période-cohorte. *Population (French Edition)*, 50(4), 1031-1051.
- Bussière (Y.), (1992b), Forecasting Travel Demand from Age Structure, Urban Sprawl, and Behavior : the Montreal Case, 1986-2011, Communication à la 6e conférence sur la recherche dans les transports, Lyon.
- Bussière, J., & Madre, J. (2002). Démographie et transport: villes du Nord et villes du Sud. Paris : L'Harmattan.
- Bussière, Y. (1992b). «Forecasting Travel Demand from Age Structure, Urban Sprawl, and Behavior : the Montreal Case, 1986-2011», Communication à la 6e conférence sur la recherche dans les transports, Lyon.
- Bussière, Y. Armoogum, J. & Madre, J-L. (1996). Vers la saturation ? Une approche démographique de l'équipement des ménages en automobile dans trois régions urbaines. *Population*, N°4-5, pp 955-978
- Bussière, Y. et Dallaire Y. (1994). «Tendances socio-démographiques et demande de transport dans quatre régions métropolitaines canadiennes. Éléments de prospective», Plan Canada.
- Cambridge Systematics Inc. et Texas Transportation Institute. (2005). Traffic Congestion and Reliability : Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation. Tiré de Federal Highway Administration.
- Cambridge Systematics, Inc. Augusta regional freight profile. Final report. Atlanta, 2008.

- Cambridge Systematics, Inc. Cleveland freight management study. Final report. Atlanta, 2011. Centre d'analyse stratégique. Pour un renouveau de la logistique urbaine. La Note d'analyse No 274, Paris, 2012.
- Cameron, C., Wolfe, R., & Craig, C. (2007). Physical activity and sport: Encouraging children to be active. Ottawa, ON: Canadian Fitness and Lifestyle Research Institute.
- Carr, J. L., C. D. Dixon, et al. (2010). Guidebook for Corridor-Based Statewide Transportation Planning. WASHINGTON, D.C., TRB, Transportation Research Board.
- CIRAIG. (2012). "Modélisation Économique." Retrieved 01 mars, 2012, from http://wiki.polymtl.ca/ciraig/index.php/Mod%C3%A9lisation_%C3%A9conomique.
- Cirillo, C., Cornelis, E. et Toint, P. (2010). A model of weekly labor participation for a Belgian synthetic population, Networks and Spatial Economics
- Cloutier, M. S., Bergeron, J., & Apparicio, P. (2010). Predictors of Parental Risk Perceptions: The Case of Child Pedestrian Injuries in School Context. Risk Analysis.
- Collins, D. C. A., & Kearns, R. A. (2001). The safe journeys of an enterprising school: negotiating landscapes of opportunity and risk. Health & Place, 7(4), 293-306.
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2011). Un grand Montréal attractif, compétitif et durable: Projet de Plan métropolitain d'aménagement et de développement.
- Conseillers ADEC inc. (2009). Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2003. Tiré de Ministère des transports du Québec.
- CTD, C. p. u. t. d. (2002). Definition and vision of sustainable transportation.
- Dablanc L. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. Transportation Research Part A, 41: 280-285.
- Davison, K. K., Werder, J. L., & Lawson, C. T. (2008). Peer Reviewed: Children's Active Commuting to School: Current Knowledge and Future Directions. Preventing chronic disease, 5(3).
- Delcan, iTRANS et Conseillers ADEC. (2006). The Cost of Urban Congestion in Canada. Tiré de Transports Canada.
- Demers M. L'innovation dans la chaîne logistique des marchandises. Avis du Conseil de la science et de la technologie présenté au Ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation, Québec, 2010.
- Dray, S., Legendre, P., & Peres-Neto, P. R. (2006). Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). Ecological Modelling, 196(3-4), 483-493.
- Équipe du Plan de transport. Portrait et diagnostic. Note technique 9 : Transport des marchandises. Plan de transport de Montréal, Montréal, 2005.
- Escoffier F. Révolution dans la logistique (1ère partie) : Le BtoC. Dossier SAM Le Directeur, 2-15 octobre 2000.

- Ewing, R., Schroeder, W., & Greene, W. (2004). School location and student travel analysis of factors affecting mode choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1895(-1), 55-63.
- Reid, F. A. (1982). Critique of ITE Trip Generation Rates and An Alternative Basis for Estimating New Area Traffic. *Transportation Research Record*, no. 874, pp. 1-5, 1982.
- Faulkner, G. E. J., Buliung, R. N., Flora, P. K., & Fusco, C. (2009). Active school transport, physical activity levels and body weight of children and youth: a systematic review. *Preventive Medicine*, 48(1), 3-8.
- Federal highway administration. Focus on Congestion Relief: Describing the Congestion Problem. Consulté le 13 février 2012, Tiré de http://www.fhwa.dot.gov/congestion/describing_problem.htm
- Fotel, T., & Thomsen, T. U. (2004). The surveillance of children's mobility. *Surveillance & Society*, 1(4), 535-554.
- Gallez, C. (1994a). Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché de l'automobile. Thèse en sciences économiques de l'Université de Paris.
- Gallez, C. (1994b). Identifying the long term dynamics of car ownership: a demographic approach, *Transport Reviews*, vol. 14, n° 1, 83-102.
- Gitton, F. (2006). Comportements de mobilité et simulation de déplacements sur l'agglomération lyonnaise, Rapport de stage ENSAE au Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon, 79p.
- Gourvil, L. and F. Joubert. *Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal*. Publication of Ministère des Transports du Québec, Gouvernement du Québec, 2004.
- Grégoire, J. (2011) Analyse évolutive des comportements de mobilité des personnes âgées. Mémoire, Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, Canada. Presses de Polytechnique de Montréal, 225 pages
- Grégoire, J. (2011) Analyse évolutive des comportements de mobilité des personnes âgées. Mémoire, Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, Canada. Presses de Polytechnique de Montréal, 225 pages
- Gusbin, D., Toint, P. et al. (2007). Démographie, géographie et mobilité : perspectives à long terme et politiques pour un développement durable (MOBIDIC), Politique Scientifique Fédérale, Bruxelles.
- Heelan, K. A., Donnelly, J., Jacobsen, D., Mayo, M., Washburn, R., & Greene, L. (2005). Active commuting to and from school and BMI in elementary school children—preliminary data. *Child: Care, Health and Development*, 31(3), 341-349.
- Hillman, M., Adams, J., & Whitelegg, J. (1990). *One false move*: Policy Studies Institute London.
- Hjorthol, R., Levin, L. et al. (2010). Mobility in different generations of older persons: The development of daily travel in different cohorts in Denmark, Norway and Sweden, *Journal of Transport Geography*, Vol.18, No 5, pp. 624-633.

- Hofstetter, P. and G. A. Norris (2003). "Why and how should we assess occupational health impacts in integrated product policy?" *Environmental Science and Technology* 37(10): 2025-2035.
- Institute of Transportation Engineers. *Trip generation handbook*, deuxième édition, Washington, 2004.
- ISO, I. O. f. S. (2006). *ISO14040: Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework*, International Organization for Standardization: 20.
- J. G. Green. *Development of Trip Production Models Incorporating Accessibility Measures for Rapidly Developing Region*. Department of Civil and Environmental Engineering, Howard R. Hughes College of Engineering, 2008
- J. S. Miller, L. A., Hoel, A. K. Goswami, et J. M. Ulmer. *Borrowing Residential Trip Generation Rates*. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 132, no. 2, pp. 105-113, 2006.
- Jensen, S. U., & Hummer, C. H. (2002). *Sikre skoleveje: En undersøgelse af børns trafiksikkerhed og transportvaner: Danmarks Transportforskning*.
- Jolliet, O. (2010). *Analyse du cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan Lausanne, [Suisse] : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*.
- K. J. Krizek. *Residential Relocation and Changes in Urban Travel*. *Journal of the American Planning Association*, vol. 69, no. 3, pp. 265-281, 2003.
- Kessler, D. et Masson, A. (1985). *Petit guide pour décomposer un phénomène en termes d'effets d'âge, de cohorte et de moment, Cycles de vie et Générations*, Masson édts, Economica.
- Kitamura, R. (1997). *Applications of models of activity behavior for activity-based demand forecasting*. Paper presented at the Activity-Based Travel Forecasting Conference in New Orleans, Washington D.C., USA.
- Kitamura, R., Pas, E. I., Lula, C. V., Lawton, T. K., & Benson, P. E. (1996). *The sequenced activity mobility simulator (SAMS): An integrated approach to modeling transportation, land use and air quality*. *Transportation*, 23(3), 267-291.
- Krakutovski, Z. (2004). *Améliorations de l'approche démographique pour la prévision à long terme de la mobilité urbaine*. Université de Paris, Paris, France
- Krakutovski, Z. (2004). *Améliorations de l'approche démographique pour la prévision à long terme de la mobilité urbaine*, Thèse Université Paris, Paris, France
- Kriger D, Tan E, Erwin T et al. *Cadre de collecte de données de qualité supérieure sur le transport urbain des marchandises au Canada : Phase 1*. Préparé pour l'Association des transports du Canada, Ottawa, 2007.
- Kuhnimhof, T. Buehler, R. et Dargay, J. (2011). «A new generation: Travel trends among young Germans and Britons», 90th Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington D.C, 21 p.

- Lewis, P., & Torres, J. (2010). Les parents et les déplacements entre la maison et l'école primaire: quelle place pour l'enfant dans la ville? *Généralisations*, 12, 44-64.
- Lomax, T., Turner, S. et Shunk, G. (1997). *Quantifying Congestion*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Loustau, P. (2009). Modélisation des temps d'eparcours sur un réseau routier à l'aide de données de véhicules flottants. Mémoire de maîtrise (M.Sc.A.), École Polytechnique de Montréal, Montréal.
- Loustau, P., Grasset, V., Morency, C. et Trépanier, M. (2010). Comparing Floating Car Data and Carsharing GPS Data for Travel Time Assessment. 12th World Conference on Transport Research, Lisbonne, Portugal.
- M. J. Roorda, C. Morency, et K. Woo. Two cities, two realities? A closer look at the evolution of trip rates in Toronto and Montréal. *Transportation Research Record*, vol. 2082, pp. 156-167, 2008
- Mackett, R. L. (2001). Are we making our children car dependent. Paper written for a lecture given at Trinity College Dublin, Ireland.
- Mackett, R. L., Lucas, L., Paskins, J., & Turbin, J. (2002). Health benefits of non-car travel by children. Paper presented at the Conference on "School and Buisness Travel Plans" Hatfield.
- Mackett, R., Brown, B., Gong, Y., Kitazawa, K., & Paskins, J. (2007). Children's independent movement in the local environment. *Built environment*, 33(4), 454-468.
- Madré, J.-L. et Gallez, C. (1992). «Le parc automobile des ménages dans les années 2000 : méthodes démographiques de projection à long terme», Actes de la 6e conférence sur la recherche dans les transports, Lyon.
- Mason, W., & Fienberg, S. (1985). *Cohort analysis in social research: beyond the identification problem*. New York: Springer.
- Mason, W., & Fienberg, S. (1985). *Cohort analysis in social research: beyond the identification problem*. New York: Springer.
- McDonald, N. C. (2007). Active Transportation to School:: Trends Among US Schoolchildren, 1969-2001. *American Journal of Preventive Medicine*, 32(6), 509-516.
- McDonald, N. C. (2008). Children's mode choice for the school trip: the role of distance and school location in walking to school. *Transportation*, 35(1), 23-35.
- McMaster Institute for Transportation & Logistics. Estimating urban commercial vehicle movements in the Greater Toronto-Hamilton Area. Préparé pour: METROLINX, McMaster University, Hamilton, 2010.
- McMillan, T. E. (2007). The relative influence of urban form on a child's travel mode to school. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(1), 69-79.
- Mercado, R. & Miller, E. (2011). «Investigating changes in travel behaviour of the older population in the greater Toronto and Hamilton area», 1986-2006, 90th Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington D.C, 18 p.

- Mercado, R. Paez, A. (2009). Determinants of distance traveled with a focus on the elderly: a multilevel analysis in the Hamilton CMA, Canada, *Journal of Transport Geography* 17, 65–76
- Merom, D., Tudor-Locke, C., Bauman, A., & Rissel, C. (2006). Active commuting to school among NSW primary school children: implications for public health. *Health & Place*, 12(4), 678-687.
- Miller, E. J., & Roorda, M. J. (2003). Prototype model of household activity-travel scheduling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1831, 114-121.
- Ministère des transports du Québec. (2000). Plan de gestion des déplacements, région métropolitaine de Montréal. Pour une décongestion durable. Tiré de Gouvernement du Québec.
- Morency C, Chapleau R (2008), Age and its relation with home location, household structure and travel behaviors: 15 years of observation, 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Morency, C. Chapleau, R. (2008). «Age and its relation with home location, household structure and travel behaviors: 15 years of observation», 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Morency, C. et Kestens, Y. (2007). «Measuring activity spaces of people, households and population segments», proceedings of the 11th World Conference on Transport Research, Berkeley, California
- Morency, C., Trépanier, M., Piché, D., Chapleau, R. (2008). Bridging the gap between complex data and decision makers: an example of innovative interactive tool, *Journal of Transportation Planning and Technology*.
- Morency, et R. Chapleau. Mesure de diverses expressions de l'étalement urbain à l'aide de données fusionnées d'enquête transport et de recensement: étude multiperspectives du Grand Montréal. *Les Cahiers scientifiques du transport*, Lyon, no. 43, pp. 3-34, 2003.
- MTQ (2011). Stratégie de développement durable 2009-2013.
- MTQ. (2012). Modèles de prévision de la demande. Page consultée le 30 février 2012, Tiré de http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/recherche_innovation/modelisation_systemes_transport/modele_prevision_demande
- MTQ. (2012). Modèles de prévision de la demande. Page consultée le 30 février 2012, Tiré de http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/recherche_innovation/modelisation_systemes_transport/modele_prevision_demande
- Nicolas, J-P., Bonnel, P. et al. (2009). Simuler les mobilités pour une agglomération durable. LET, rapport final. 211 p.

- Oakil, AT., Ettema, D. et al. (2011). «Dynamics in car ownership and life cycle events: a longitudinal analysis», Presented at the 90th Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington D.C, 18 p.
- Pabayo, R., & Gauvin, L. (2008). Proportions of students who use various modes of transportation to and from school in a representative population-based sample of children and adolescents, 1999. *Preventive Medicine*, 46(1), 63-66.
- Pabayo, R., Gauvin, L., Barnett, T. A., Morency, P., Nikiéma, B., & Séguin, L. (2011). Understanding the determinants of active transportation to school among children: Evidence of environmental injustice from the Quebec Longitudinal Study of Child Development. *Health & Place*.
- Pàez, A., Scott, D. et al. (2007). Elderly Mobility: Demographic and Spatial Analysis of Trip Making in the Hamilton CMA, Canada. *Urban Studies* 44(1), p.1-24.
- Papageorgiou, M. (1995). "An integrated control approach for traffic corridors." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 3(1): 19-30.
- Pasquier, S., E. Laurent, et al. (2010). Emballages industriels : évaluation environnementale, économique et sociale de l'intérêt comparé entre réutilisation et usage unique.
- Patier D et Routhier JL. Une méthode d'enquête du transport de marchandises en ville pour un diagnostic en politiques urbaines. *Les Cahiers scientifiques du Transport*, 55 : 11-38, 2009.
- Peltan, C. (1992). Application du modèle démographique à la projection du parc automobile régional, Rapport de stage, Inrets, Arcueil.
- Pochet P, Corget R (2010), Entre "automobilité", proximité et sédentarité, quels modèles de mobilité quotidienne pour les résidents âgés du périurbain ?, *Espace Populations Sociétés*, n°1, pp. 69-81
- Pochet, P. (2003). Mobilité et accès à la voiture chez les personnes âgées: Évolutions actuelles et enjeux, *Recherche Transports Sécurité* 79, pp. 93–106.
- Pochet, P. et Corget, R. (2010). Entre "automobilité", proximité et sédentarité, quels modèles de mobilité quotidienne pour les résidents âgés du périurbain ?, *Espace Populations Sociétés*, n°1, pp. 69-81
- Prezza, M., Piloni, S., Morabito, C., Sersante, C., Alparone, F. R., & Giuliani, M. V. (2001). The influence of psychosocial and environmental factors on children's independent mobility and relationship to peer frequentation. *Journal of community & applied social psychology*, 11(6), 435-450.
- Québec, G. d. (2006). Loi sur le développement durable.
- Québec, G. d. (2007). Stratégie gouvernementale de développement durable 2008-2013.
- R. Dobson, et W. E. McGarvey. An Empirical Comparison of Disaggregate Category and Regression Trip Generation Analysis Techniques. *Transportation* 6, vol. 6, no. 3, pp.287-307, 1977.

- Regional Transportation Management Center. (2010). Metropolitan Freeway System 2009 Congestion Report. Tiré de Minnesota Department of Transportation.
- Roorda M, Data collection strategies for a benchmarking urban goods movement across Canada. Transportation Letters Special Issues TRANSLOG 2010 Conference. Soumis pour publication, 2011.
- Roorda, M. J. (2005). Activity-based modelling of household travel. University of Toronto, Toronto, Canada.
- Roorda, M. J., Miller, E. J., & Habib, K. M. N. (2008). Validation of TASHA: A 24-h activity scheduling microsimulation model. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 42, 360-375.
- Routhier JL. Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine. Centre de prospective et de veille scientifique, 2001 Plus... Synthèses et Recherches, No 59, 2001.
- Russell, A., T. Ekvall, et al. (2005). "Life cycle assessment - Introduction and overview." Journal of Cleaner Production 13(13-14): 1207-1210.
- Saunier, N. et Morency, C. (2011). Comparing data from mobile and static traffic sensors for travel time assessment. T&DI Congres 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow.(pp. 1178-1187): American Society of Civil Engineers.
- Scott, D. et Newbold, K. et al. (2005). Changing mobility of elderly urban Canadians, 1992-1998. No. CSpAWP 007, 34 p.
- Shiftan, Y., Ben-Akiva, M., Prousaloglou, K., Gde Jong, e., Popuri, Y., Kasturirangan, K., et al. (2003). Activity-based modeling as a tool for better understanding travel behaviour. Paper presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, Switzerland.
- Sioui, L., Morency, C. et Trépanier, M. (2012). How carsharing affects the travel behavior of households : case study of Montréal, Canada. International Journal of Sustainable Transportation. Sous presse.
- Surprenant-Legault, J. (2012). « Les prévisions de la demande en transport 2008-2031 pour la région de Montréal: nouveautés méthodologiques et résultats principaux», Conférence présentée par le MTQ, 47e Conférence annuelle de l'Association Québécoise des Transports et des Routes, Québec.
- Taylor, M. A. P., Woolley, J. E. et Zito, R. (2000). Integration of the Global Positioning System and Geographical Information Systems for Traffic Congestion Studies. Transportation Research Part C, 8, 257-285.
- TDC. (2003). Household Travel Survey: Summary Report (Vol. 2003/4, pp. 50). Sydney: NSW Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources.
- Timperio, A., Crawford, D., Telford, A., & Salmon, J. (2004). Perceptions about the local neighborhood and walking and cycling among children. Preventive Medicine, 38(1), 39-47.

- Tong, D., Merry, C. J. et Coifman, B. (2006). Traffic Information Deriving Using GPS Probe Vehicle Data Integrated with GIS. GIS for Transportation Symposium, Columbus, Ohio, USA.
- Transports Québec (2012). "Environnement." Retrieved 15.01.2012, from <http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/environnement/>.
- Van Den Broecke, A.-J. et Van Leusden, G.-C. (1987). «Long-term Forecasting of Car Ownership with the Cohort Processing Model», Communication, 5e International Conference on Travel Behavior, La Baume-lès-Aix.
- Van Der Ploeg, H. P., Merom, D., Corpuz, G., & Bauman, A. E. (2008). Trends in Australian children traveling to school 1971-2003: burning petrol or carbohydrates? Preventive Medicine, 46(1), 60-62.
- Verreault, H., Morency, C. et Saunier, N. (2011). Des espions GPS au service de la gestion des réseaux. Dixièmes rencontres francophones Est-Ouest de socio-économie des transports, Montréal.
- Ville de Montréal. (2005). Plan de transport de Montréal: Vision et objectifs.
- Vuchic, V. R. (2005). Urban transi. John Wiley & Sons, 633 pages
- Vuchic, V. R. (2005). Urban transit. John Wiley & Sons. 633 pages
- Yilin, S., Jiyang, W. et al. (2011). «Automobility cohort, period, age and residence area effects on urban travel: a case study of Kyoto-Osaka-Kobe Metropolitan area of Japan», 90th Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington
- Zwerts, E., & Wets, G. (2006). Children's travel behaviour: a world of difference. Paper presented at the TRB 2006, Washington, U.S.A. <http://hdl.handle.net/1942/1447>



7 Annexes

Ces annexes seront disponibles en ligne sur le site de partage des fichiers des partenaires de la Chaire.

- Rapport financier
- Proposition de recherche de Pegah Nouri
- Mémoire de Jason Demers
- Mémoire d'Audrey Godin
- Analyses statistiques – indicateurs de congestion



Chaire MOBILITÉ:

mise en oeuvre de la durabilité en transport

TITULAIRE DE LA CHAIRE

Professeure Catherine Morency (CGM)

COLLABORATEURS

Professeur Martin Trépanier (MAGI)
Professeur Nicolas Saunier (CGM)
Professeur Bruno Agard (MAGI)

PROFESSIONNELS DE RECHERCHE

Marie Demers
Hubert Verreault

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Pr. Matthew Roorda (University of Toronto)
Pr. Antonio Paez (Mc Master University)
Pr. Paul Lewis (Université de Montréal)
Pr. Patrick Bonnel
(École Nationale des travaux publics de l'État, Lyon, France)
Pr. Kostas Goulias
(UCSB : University of California at Santa Barbara)

