

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

*Rapport d'activités 2012-2013
Version finale*





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

Rapport d'activités 2012-2013 – Version finale

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

Juillet 2014

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 (2014). Rapport d'activités 2012-2013, Version finale, Polytechnique Montréal, 151 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, Ph. D., épidémiologiste, associée de recherche
Hubert Verreault, M.Sc.A., associé de recherche

Étudiants

Louiselle Sioui, doctorante
Pegah Nouri, doctorante
Kinan Bahbouh, doctorant
Farhana Yasmin, doctorante
Christine Théberge-Barrette, étudiante à la maîtrise
Catherine Plouffe, étudiante à la maîtrise
Gabriel Sicotte, étudiant à la maîtrise
Jean-Simon Bourdeau, étudiant à la maîtrise



Table de matières

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.....	5
1.6	Formation de personnel hautement qualifié.....	7
1.7	Équipe de recherche actuelle et thématiques de recherche.....	7
1.7.1	Étudiants impliqués dans le programme de recherche.....	7
1.7.2	Thématiques spécifiques.....	10
2	Tendances qui pourraient avoir une incidence sur la mobilité.....	11
2.1	Introduction.....	11
2.2	L'atteinte d'un point de saturation.....	11
2.3	Transition culturelle.....	12
2.4	Transitions économiques.....	13
2.4.1	De l'économie du produit à l'économie du savoir.....	13
2.4.2	De l'économie de la fonctionnalité à l'économie du partage.....	13
2.4.3	Généralisation du commerce électronique.....	14
2.4.4	Possible régionalisation de l'économie.....	14
2.5	Tendances urbanistiques favorisant la densification.....	15
2.6	Transitions démographiques.....	16
2.6.1	L'impact des baby-boomers vieillissants.....	16
2.6.2	La génération du millénaire.....	17
2.6.3	La mobilité différente des femmes.....	18
2.7	Implications pour la planification du transport.....	18
3	Méthodes d'enquête sur la mobilité.....	20
3.1	Première note technique sur les méthodes d'enquête.....	20
3.2	Thématiques actuellement examinées en liens avec les méthodes d'enquête.....	20
4	État d'avancement des thématiques spécifiques.....	22
4.1	Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils – indicateurs de congestion, indicateurs d'équité.....	23
4.1.1	Introduction.....	23
4.1.2	Méthodologie générale.....	25
4.1.3	Résultats.....	25

4.1.4	Schéma interactif : un cercle	32
4.2	Amélioration des méthodes d'estimation des émissions polluantes liées aux véhicules routiers (Enhancing Emission Estimation from On-Road Vehicles)	43
4.2.1	Introduction	43
4.2.2	Facteurs d'émission	44
4.2.3	Synthèse	62
4.3	Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport	64
4.3.1	Introduction	64
4.3.2	Problématique	64
4.3.3	Objectifs	65
4.3.4	Revue de littérature	66
4.3.5	Définition d'un corridor	66
4.3.6	Caractéristiques	67
4.3.7	Rôles	69
4.3.8	Caractéristiques	69
4.3.9	Typologies	70
4.3.10	Modélisation de corridor	72
4.3.11	Modélisation de corridors de demande	74
4.3.12	Évaluation de corridor	76
4.3.13	Méthodologie générale	78
4.3.14	Contributions attendues	83
4.4	Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal	84
4.4.1	Introduction	84
4.4.2	Problématique	84
4.4.3	Objectifs spécifiques	84
4.4.4	Méthodologie	85
4.4.5	Résultats actuels et attendus	88
4.4.6	Schéma du modèle	95
4.5	Méthodologie d'estimation de la génération de déplacements aux lieux de résidence	98
4.5.1	Introduction	98
4.5.2	Objectifs du projet de recherche et données	99
4.5.3	Analyse descriptive	100
4.5.4	Le nombre d'enfants	103
4.5.5	L'âge des personnes	107
4.5.6	Les variables de voisinage en relation avec la mobilité	108
4.5.7	La composition du voisinage (âge des personnes)	113
4.5.8	Le type de ménage en relation avec le type de logement	115
4.5.9	Modélisation	117
4.5.10	Répartition modale	118



4.5.11	Premiers résultats : Test avec le Lowney sur ville	118
4.5.12	Validation du modèle	120
4.5.13	Perspectives et conclusions	120
4.6	Interdépendance entre choix modal et chaînes de déplacement	121
4.6.1	Introduction	121
4.6.2	Activités et méthodologie.....	125
4.7	Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements	127
4.7.1	Contexte	127
4.7.2	Données disponibles.....	127
4.7.3	Schéma de montage d'un système d'offre et de demande de stationnement.....	131
4.7.4	Données nécessaires pour la suite du projet	131
4.7.5	Échéancier	131
5	Autres travaux pertinents	132
5.1	Développement d'un outil intégré de collecte, analyse et visualisation de données de mobilité (Projet de doctorat de Pierre-Léo Bourbonnais, Direction : Catherine Morency)	132
5.2	Contributions à la prévision de la demande de transport par les modèles d'activités (Projet de doctorat de Farhana Yasmin, Direction : Catherine Morency / Matthew Roorda)	132
5.3	Code de la rue (Projet de doctorat de Jean-François Bruneau, Direction : Catherine Morency)	133
5.4	Projet sur la valorisation de données GPS de camions	134
6	Rayonnement	135
6.1	Catherine Morency	135
6.2	Nicolas Saunier.....	136
6.3	Martin Trépanier.....	136
6.4	Participation à des conférences.....	137
6.5	Activités organisées par la Chaire	138
7	Références.....	139
8	Annexes.....	150

Liste des figures

Figure 1. Schéma illustrant le cadre conceptuel du programme de recherche de la Chaire Mobilité.....	6
Figure 2. Augmentation du nombre de personnes de 65 ans ou plus par région socio-sanitaire au Québec entre 2009 et 2031	17
Figure 3. Schéma statique des impacts de la mobilité sur le développement durable	27
Figure 4. Les impacts de la mobilité sur la dimension environnement du développement durable	29
Figure 5. Les impacts de la mobilité sur la dimension société du développement durable	30
Figure 6. Les impacts de la mobilité sur la dimension économie du développement durable	31
Figure 7. Cercle interactif initial	33
Figure 8. Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 0 : Modification du taux d'émission de polluants par les véhicules, par kilomètre parcouru	35
Figure 9. Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 1 : Diminution du taux d'émission de polluants par les véhicules, par kilomètre parcouru	37
Figure 10. Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 2 : Diminution du taux d'émission de polluants par les véhicules, par kilomètre parcouru	39
Figure 11. Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 4 : Diminution du taux d'émission de polluants par les véhicules, par kilomètre parcouru	40
Figure 12: Facteurs d'émission	44
Figure 13: Sommaire des différences liées au type de carburant	46
Figure 14: Taux de consommation moyen des véhicules à essence, par classe	49
Figure 15: Comparaison entre différents modèles basés sur l'énergie	54
Figure 16: Relations entre la température et les émissions de polluants pour un véhicule à essence en 2005, 2015 et 2020 (Choi et al., 2011)	56
Figure 17: Émissions excédentaires des démarrages à froid selon la température ambiante (André & Joumard, 2005).....	57
Figure 18: Sommaire des émissions excédentaires selon la température et l'état du véhicule.....	58
Figure 19: Relations entre l'humidité et les émissions pour différents véhicules et selon différentes températures, en Fahrenheit (estimations 2005) (Choi et al., 2011).....	59
Figure 20: Synthèse de l'influence de différents facteurs d'émission	63
Figure 21 : Concept de corridor (selon Smith et al., 1999)	68
Figure 22 : Typologies de corridors	71
Figure 23 : Délimitation de réseau de corridor (inspiré de Carr et al., 2010).....	73
Figure 24 : Identification de corridors à l'aide de paires O-D agrégées par zones (Rao et al., 2011).....	74
Figure 25 : Principales méthodes de groupement	75
Figure 26 : Exemples de Clustering des mouvements (A: (Doantam et al., 2005); B : (Rao et al., 2011); C : (Lee et al., 2007)	76
Figure 27 : Évaluer les impacts du choix modal	78
Figure 28 : Évaluer des matériaux de construction	78
Figure 29 : Méthodologie de recherche.....	79
Figure 30 : Étapes d'identification des corridors.....	80
Figure 31 : Étapes de TraClus.....	81
Figure 32 : Résultat d'identification des corridors avec TraClus.....	82
Figure 33. Schéma méthodologique.....	86
Figure 34. Relation entre les variables	87
Figure 35. Exemples d'analyse démographique : longitudinale et transversale (Grégoire, 2011)	88
Figure 36. Proportion de la population auto-suffisante dans la population totale, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte	89
Figure 37. Proportion de la population selon le type de motorisation, le sexe, le groupe d'âge et la période	89
Figure 38. Nombre moyen de déplacements quotidiens, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte	90
Figure 39. Distance parcourue quotidiennement, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte	91
Figure 40. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme conducteur selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte.....	92
Figure 41. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme conducteur chez les auto-négociées, selon le sexe,	92

Figure 42. Distance moyenne parcourue quotidiennement comme conducteur chez les auto-négociées, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte.....	93
Figure 43. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme passager selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte.....	93
Figure 44. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme passager chez les auto-négociées, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte	94
Figure 45. Distance moyenne parcourue quotidiennement comme passager chez les auto-négociées, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte.....	94
Figure 46. Schéma du modèle APCC explicatif.....	95
Figure 47. Schéma du modèle APCC prédictif	95
Figure 48. Illustration des effets APC pour la modélisation du mode auto-passager (Pépin, 2012)	96
Figure 49 : Relation entre les variables.....	100
Figure 50 : Relation entre la taille du ménage et le nombre de déplacements	101
Figure 51 : Visualisation des écarts (taille du ménage vs mobilité).....	102
Figure 52 : Effets de l'âge sur la mobilité des ménages à une personne	103
Figure 53 : Effets des enfants sur la mobilité des ménages.....	104
Figure 54 : Effets des enfants sur la mobilité des personnes.....	104
Figure 55 : Effets des enfants sur la mobilité des adultes	105
Figure 56 : Nombre de déplacements par personne par type de ménage, sexe et âge	106
Figure 57 : Relation entre l'âge des personnes et le nombre de déplacements	107
Figure 58 : Mobilité des personnes selon l'âge, le sexe et la taille du ménage	107
Figure 59 : Effets de la densité sur la mobilité.....	108
Figure 60 : Relation entre niveau de service de transport collectif et le nombre de déplacements par ménage.....	109
Figure 61 : Effets du niveau de service de transport collectif sur la mobilité	110
Figure 62 : Effets du niveau de revenu du voisinage sur la mobilité	111
Figure 63 : Effets du taux d'activité du voisinage sur la mobilité.....	112
Figure 64 : Effets du taux de chômage du voisinage sur la mobilité.....	113
Figure 65 : Effets du % de personnes de 10 à 19 ans sur la mobilité	114
Figure 66 : Effets du % de personnes de 20 à 34 ans sur la mobilité	114
Figure 67 : Effets du % de personnes de 65 ans et plus sur la mobilité	115
Figure 68 : Relations entre le type de ménage et le type de logement	116
Figure 69 : Schéma décrivant les étapes de la modélisation	117
Figure 70 : Comparaison des résultats du modèle avec le Trip Generation (ITE)	119
Figure 71 : Panneaux de signalisation par arrondissement, pour les arrondissements ayant mis des données en ligne	128
Figure 72 : Géolocalisation des panneaux de stationnement, pour les arrondissements ayant mis des données en ligne	129
Figure 73 : Géolocalisation des panneaux d'interdiction d'arrêt en raison de la présence d'un arrêt d'autobus, pour les arrondissements ayant mis des données en ligne	129
Figure 74 : Géolocalisation des panneaux pour les vélos.....	130
Figure 75 : Géolocalisation des stationnements payants.....	130
Figure 76. Schéma d'un système intégré d'information sur l'offre et la demande de stationnement	131



Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des projets de recherche et étudiants-e-s	10
Tableau 2. Taux moyens d'émission de CO ₂ pour des modèles de véhicule 2001: essence vs diesel (Sullivan et al. 2004)	45
Tableau 3. Différentes émissions pour carburants fossiles (Murshed, 2010).....	46
Tableau 4. Technologies et énergies alternatives et émissions de GES liées à leur cycle de vie et comparaison avec l'essence.....	46
Tableau 5. Taux moyen de consommation pour les véhicules à essence au Canada, par classe, de 2003-2012 (Litres / 100 km), Source: Ressources naturelles Canada, Cotes de consommation de carburant	48
Tableau 6. Paramètres des véhicules requis par les modèles de consommation d'essence basés sur l'énergie	53
Tableau 7. Valeurs moyennes d'émissions pour les modes VSP pour un véhicule léger type (Salamati et al., 2013) ..	55
Tableau 8. Paramètres pour le modèle propose par M. F. Weilenmann et al., 2005, selon différentes conditions et types de route	61
Tableau 9. Consommation moyenne d'essence pour les chaussées d'asphalte et de béton (chaussée sèche)	61
Tableau 10. Composantes du corridor.....	70
Tableau 11. Critères de délimitation de corridor.....	72
Tableau 12. Échéancier du projet.....	126



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 à l'échelle internationale (Litman et Burwell, 2006, Litman, 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 avec 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 à l'échelle internationale, 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 à l'échelle locale ou métropolitaine et évaluer les possibilités d'estimation des indicateurs identifiés au vu des banques de données disponibles.



- Accompagner les intervenants et proposer des développements méthodologiques pour assurer l'exploitation, la bonification et la valorisation des bases de données disponibles dans le contexte québécois et plus particulièrement montréalais. Ces développements visent aussi à faire progresser et à 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'échange d'information et d'outils à l'échelle métropolitaine.
- 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

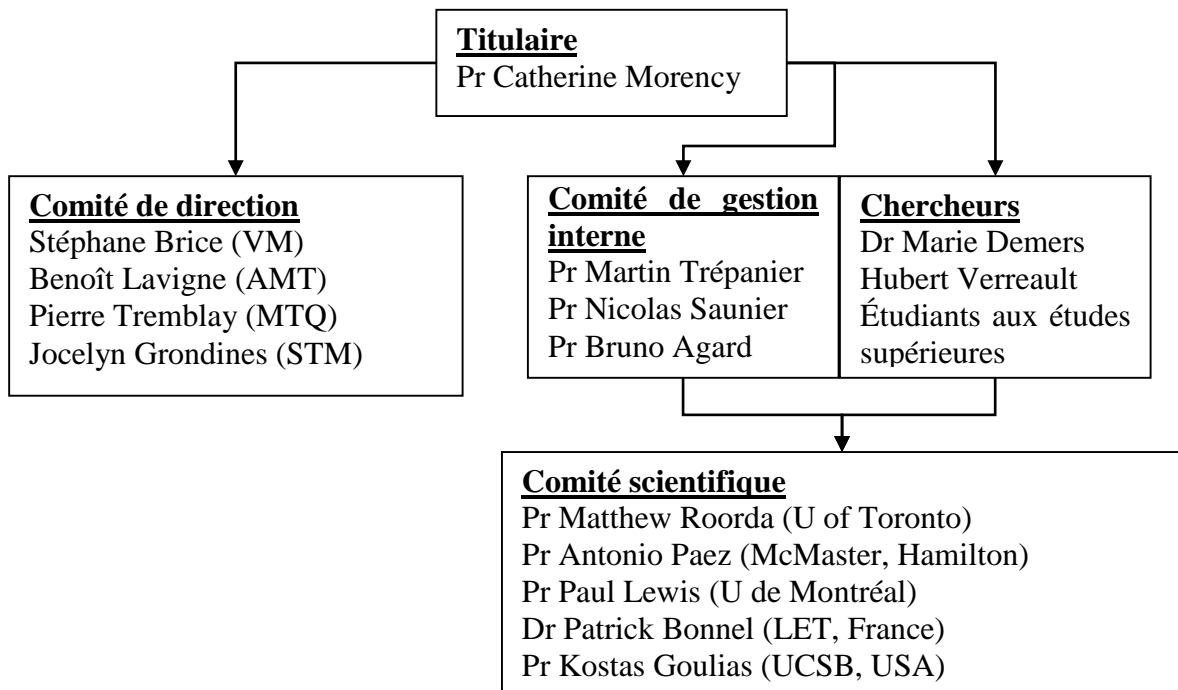
1.3.1 Partenaires

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: Benoît Lavigne
 - 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). Le professeur Lewis a terminé son mandat au sein du comité scientifique en janvier 2013 et sera remplacé en cours d'année, suite à une consultation auprès des partenaires.
- 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)
- Deux **professionnels de recherche** sont impliqués de façon continue dans les travaux de la recherche :
 - **Marie Demers** est docteure en épidémiologie. En 2006, elle a publié "Walk for your life!", un livre dans lequel elle propose une revue de la littérature scientifique sur les liens entre la mobilité active, les formes urbaines et l'obésité et qui témoigne de sa compréhension étendue du sujet. En 2008, elle a été impliquée dans la préparation d'une analyse visant à documenter les contributions des réseaux de transport en commun québécois au développement durable, pour l'Association du transport urbain du Québec (ATUQ). En 2010, elle a produit une série de feuillets de recherche sur le rôle de l'environnement bâti sur le niveau d'activité physique des jeunes pour Québec en forme. Elle est impliquée dans de multiples projets liés au transport (Vision 2030 des transports pour le Québec, Avis sur l'innovation dans la chaîne logistique des marchandises, etc.)
 - **Hubert Verreault**, est ingénieur civil, diplômé de Polytechnique et détenteur d'une maîtrise en transport de l'École Polytechnique de Montréal. Entre 2008 et 2010, il a été analyste en transport à l'Agence métropolitaine de transport, notamment impliqué dans la réalisation, le traitement et l'analyse de différentes enquêtes sur la mobilité des personnes. Il est chargé de cours à Polytechnique et contribue à la majorité des projets de recherche de la Chaire.

Des étudiants, notamment de **niveau maîtrise et doctorat**, sont impliqués dans les différentes thématiques de recherche; ils seront présentés plus loin dans le document.

1.4 Contenu du rapport

Ce document fait état du travail réalisé dans la troisième 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. Plusieurs étudiants ont maintenant finalisé leur projet de recherche (maîtrise) et les mémoires constituent le témoignage détaillé de

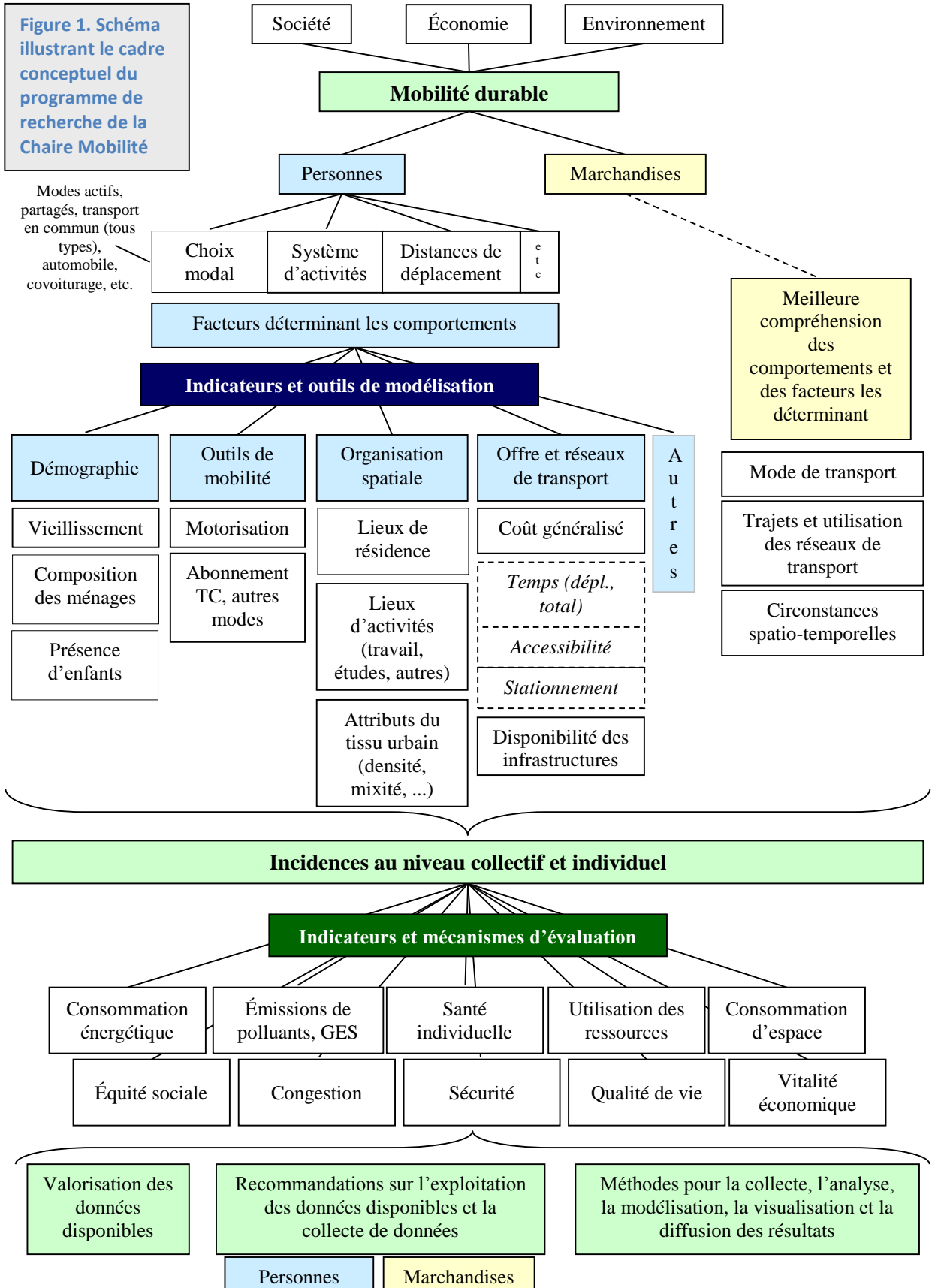


leur travail; les mémoires sont disponibles sur le site de Polytechnique (les liens pour accéder à ces documents sont indiqués à la section 1.6). Le rapport est structuré comme suit. Le cadre général de recherche de la Chaire est d'abord rappelé et la liste des étudiants diplômés et actuellement impliqués dans les travaux de la Chaire est fournie. Le second chapitre propose ensuite une réflexion sur quelques tendances mondiales qui pourraient avoir un effet sur la demande future en transport. Le Chapitre 3 propose un rappel des principaux éléments contenus dans la note technique sur les méthodes d'enquête, déposé aux partenaires en 2012, ainsi que les éléments actuellement examinés sur cet aspect dans le cadre des travaux de la Chaire. Le Chapitre 4 présente l'état d'avancement des différentes thématiques de recherche abordées par les étudiants et chercheurs. Le Chapitre 5 décrit brièvement d'autres projets de recherche à l'extérieur du mandat de la Chaire mais qui sont considérés d'intérêt pour les partenaires. Le Chapitre 6 résume finalement quelques activités de rayonnement tenues par les chercheurs de la Chaire. Il est à noter que le rapport financier sera rendu disponible dans un document séparé.

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.

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





1.6 Formation de personnel hautement qualifié

L'environnement de recherche de la Chaire a déjà mené à la graduation de plusieurs étudiants en maîtrise (recherche). Les projets de recherche suivants ont été déposés et acceptés par des jurys:

Désilets, Sébastien (2012) Tendances liées à la composition, la motorisation et la localisation spatiale des ménages. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal. http://publications.polymtl.ca/1055/1/2012_SebastienDesilets.pdf

Pépin, Félix (2012) Mobilité quotidienne des enfants : déterminants, caractéristiques et évolution. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal. http://publications.polymtl.ca/994/1/2012_FelixPepin.pdf

Diallo, Abdoulaye (2012) Méthodologie d'analyse des stationnements. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal. http://publications.polymtl.ca/913/1/2012_AbdoulayeDiallo.pdf

Martel Poliquin, Éric (2012) Mieux comprendre les déterminants du choix modal. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal. http://publications.polymtl.ca/904/1/2012_EricMartelPoliquin.pdf

Godin, Audrey (2012) L'accessibilité en transport: Méthodes et indicateurs. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal. http://publications.polymtl.ca/814/1/2012_AudreyGodin.pdf

Demers, Jason (2012) Méthodologie de collecte et d'analyse de données sur le transport par camion en milieu urbain. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal. http://publications.polymtl.ca/800/1/2012_JasonDemers.pdf

Grégoire, Julien (2011) Analyse évolutive des comportements de mobilité des personnes âgées. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal. http://publications.polymtl.ca/582/1/2011_JulienGregoire.pdf (financement partiel)

Godefroy, François (2011) Méthodologie de caractérisation du vélopartage et d'estimation du marché potentiel du vélo à Montréal. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal (financement partiel). Ce mémoire est confidentiel en raison du contenu sensible sur Bixi.

1.7 Équipe de recherche actuelle et thématiques de recherche

Deux associés de recherche sont impliqués dans les activités de recherche, en plus de quatre professeurs chercheurs : Martin Trépanier, Nicolas Saunier, Bruno Agard et Catherine Morency. 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.

1.7.1 Étudiants impliqués dans le programme de recherche

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 : 2014) : Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes et 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 : 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.

- **Kinan Bahbouh** (doctorat en cotutelle, fin prévue : 2015) : Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport.

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.

- **Farhana Yasmin** (doctorat, fin prévue : 2014). Amélioration des modèles de prévision de la demande de transport grâce aux modèles d'activités.

Farhana Yasmin détient un baccalauréat en planification régionale et urbaine du département de planification urbaine et régionale de BUET (Bangladesh University of Engineering and Technology) en Novembre 2006. Elle a complété une maîtrise dans le même domaine en Septembre 2008. Elle a été chargée de cours pendant deux ans au même département de BUET. Elle est actuellement doctorante en génie civil à l'École Polytechnique de Montréal sous la codirection des professeurs Catherine Morency et Matthew J. Roorda (Université de Toronto). Ses recherches portent sur l'analyse des comportements de mobilité, spécifiquement les modèles d'activités et la façon dont ils peuvent contribuer à l'amélioration des méthodes de prévision de la demande au Québec.



- **Catherine Plouffe**. (maîtrise, fin prévue : 2014) : Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal.

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'exams de cours de transport au BAC à l'École Polytechnique.

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

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.

- **Gabriel Sicotte**. (maîtrise, fin prévue : 2014) : Chaînes de déplacement et choix modal

Gabriel Sicotte a complété un baccalauréat en urbanisme à l'Université de Montréal (2009-2012) pour lequel il a reçu le prix du Mérite Étudiant de l'Ordre des Urbanistes du Québec. Son projet terminal, portant sur les déplacements pour le motif travail chez les populations défavorisées du quartier Saint-Michel, fait l'objet d'une note de recherche pour l'Observatoire de la mobilité durable (2013). Étudiant à la maîtrise en transport à l'École Polytechnique depuis 2012, il s'intéresse à l'intégration des chaînes de déplacements dans l'étude du marché actuel et potentiel des différents modes de transport.

- **Jean-Simon Bourdeau** (maîtrise, fin prévue : 2014) : Système d'information sur les stationnements en milieu urbain

Jean-Simon Bourdeau est diplômé au baccalauréat en génie civil (avec mention) de l'École Polytechnique de Montréal (ÉPM) depuis mai 2012. Il a été stagiaire à l'été 2010 en génie municipal pour la firme Roche ltée, Groupe-conseil. Il a contribué avec Pr. Catherine Morency à un projet de recherche en 2010 (projet UPIR) sur les enquêtes Origine-Destination (OD). Jean-Simon a aussi travaillé avec Pr. Nicolas Saunier sur deux projets de recherche : un projet sur la sécurité des carrefours giratoires au Québec (FQRNT-MTQ-FRSQ), et un projet sur les principaux facteurs influençant la qualité du marquage (MTQ). Il est présentement à la maîtrise avec les Pr. Saunier et Morency, sur la problématique de gestion des stationnements à la ville de Montréal.



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 étant plus avancés ou l'ayant complétée. L'état d'avancement de ces différentes thématiques sera présenté au chapitre 4.

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	08/2014
Enhancing Emission Estimation from On-Road Vehicles	Pegah Nouri	Ph.D.	Janv. 2011	CM	12/2014
Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport	Kinan Bahboub	Ph.D.	Janv. 2012	CM / Cotutelle INSA Lyon	04/2015
Activity-based models	Farhana Yasmin	Ph.D.	Mai 2010	CM / M. Roorda	08/2014
Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal	Catherine Plouffe	M.Sc.A.	Sept. 2011	CM	08/2014
Méthodologie d'estimation de la génération de déplacements aux lieux de résidence	Christine Théberge-Barette	M.Sc.A.	Sept. 2011	CM	12/2013
Méthode systématique d'estimation des stationnements à partir de données ouvertes	Jean-Simon Bourdeau	M.Sc.A.	Hiver 2013	NS/CM	08/2014
Chaînes de déplacement et choix modal : une approche renouvelée	Gabriel Sicotte	M.Sc.A.	Sept. 2012	CM	08/2014

¹ CM : Catherine Morency, NS : Nicolas Saunier



2 Tendances qui pourraient avoir une incidence sur la mobilité

2.1 Introduction

Dans une optique de planification des transports, il s'avère essentiel d'estimer quelle sera la demande future. Les experts mettent toutefois en garde contre la tentation d'estimer celle-ci comme s'il s'agissait simplement d'une extrapolation des tendances passées (Litman 2013; Rodrigue 2013). Au fil du temps, des phénomènes imprévus et des innovations émergentes peuvent occasionner une brisure dans le déroulement attendu des choses. Ces événements susceptibles d'entraîner des changements de paradigme peuvent relever du domaine du transport lui-même – que l'on pense aux technologies éco-énergétiques – mais aussi d'autres domaines qui n'ont, de prime abord, que peu ou pas de lien avec celui-ci.

C'est à ces derniers aspects que ce texte s'attarde, mettant l'accent sur certains changements culturels, technologiques, sociodémographiques et économiques dont les effets conjugués sur la mobilité commencent à se faire sentir dans de nombreux pays occidentaux. Les premiers constats laissent croire que des facteurs contraignants tels que le prix de l'essence, la congestion ou les mesures pour restreindre les émissions de gaz à effet de serre ne sont peut-être pas parmi les plus importants pour infléchir les courbes d'évolution de la demande en transport.

Cette section témoigne donc de constats et discussions issus de la littérature quand à des changements qui sont observés dans différents pays et qui pourraient avoir une incidence sur les comportements de mobilité. Ces changements n'ont pas nécessairement été observés dans la région de Montréal ou ne sont pas nécessairement en cours mais ils méritent d'être soulignés en vue d'assurer qu'une veille soit faite autour de ceux-ci dans la région de Montréal. Au regard de ce qui se passe ailleurs, il est en effet pertinent qu'on s'y intéresse afin de valider ou non leur pertinence pour le contexte particulier de cette région.

2.2 L'atteinte d'un point de saturation

Les données récentes indiquent que l'usage de l'automobile a atteint un point de saturation au début du nouveau millénaire et ce, avant même la récession de 2008 (Goodwin, 2012; Litman, 2013; McGuckin, 2011; Pearce, 2011). Dès 2004, le nombre de véhicule-kilomètres parcourus par an a plafonné pour diminuer par la suite dans une vingtaine de pays dont les États-Unis, la Grande-Bretagne, le Canada, la France, l'Espagne, l'Italie, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Suède, l'Allemagne et la Belgique (BITRE, 2012; Metz, 2010). Une étude menée dans 26 villes à travers le monde montre que d'une décennie à la suivante depuis 1960, l'augmentation de la distance parcourue en auto per capita est de moins en moins importante pour n'atteindre que 5,1 % entre 1995 et 2005, comparativement à 25,7 % entre 1970 et 1980 (Newman et Kenworthy, 2011). Mais il n'y a pas que la distance parcourue qui ait atteint un plateau. On observe aussi une diminution dans la vente d'automobiles, dans la possession automobile et dans le nombre de déplacements en auto, surtout pour ce qui a trait aux déplacements de magasinage et de navettage au travail (Litman, 2013; The Economist, 2012).



Parmi les causes possibles pour expliquer cette situation, Newman et Kenworthy (2011) avancent les suivantes :

- 1) l'atteinte de la limite du budget temps que les gens sont prêts à consacrer à leurs déplacements et qui est d'environ une heure par jour;
- 2) la croissance et l'amélioration de l'offre en transport collectif;
- 3) une tendance à la densification des villes favorisant les modes alternatifs de déplacement comme le transport collectif, la marche et le vélo;
- 4) le vieillissement de la population urbaine (les citoyens âgés utilisent moins l'auto);
- 5) le retour à la ville des personnes âgées résidant auparavant en banlieue;
- 6) la hausse du prix de l'essence, qui affecte plus fortement les résidents des banlieues.

À ces causes doivent être ajoutés certains changements culturels démographiques, économiques et technologiques récents, de même que l'émergence de nouveaux modèles de travail, de magasinage et de loisirs.

2.3 Transition culturelle

Idole culturelle des années 1950, l'acteur James Dean illustre bien, dans le film culte « La fureur de vivre », l'importance de l'automobile pour la génération des jeunes de l'époque. Sa mort prématurée dans un accident d'auto à l'âge de 24 ans a d'ailleurs contribué à alimenter le mythe. L'obtention du permis de conduire et la possession d'une automobile représentaient alors le rite par excellence du passage à l'âge adulte, tout comme l'usage de la cigarette. L'automobile constituait le moyen privilégié pour s'affranchir de l'environnement immédiat et acquérir une plus grande autonomie.

Un demi-siècle plus tard, le passage à l'âge adulte est plus graduel, sans coupure brutale avec l'étape précédente et est conséquemment moins marqué par des rites. Les accessoires du jeune adulte ont changé; l'automobile est devenue parfois encombrante et elle a cédé la place à des outils électroniques comme le téléphone intelligent et l'iPad. L'accès au monde extérieur ne se fait plus en franchissant des distances physiques mais de façon virtuelle. L'apparition d'Internet et des réseaux sociaux a détrôné l'automobile comme moyen d'accès au monde extérieur, non seulement pour les jeunes, mais aussi pour bien des adultes plus âgés. De nouvelles formes de contact sont maintenant possibles sans qu'aucune distance physique ne soit franchie, que l'on pense seulement aux fonctionnalités offertes par un logiciel comme Skype, qui permet de voir son interlocuteur tout en conversant en direct avec lui gratuitement et où qu'il soit sur la planète.

Les experts s'entendent pour dire que l'avènement des outils électroniques contribue à la réduction des déplacements en automobile, mais il est encore tôt pour estimer l'ampleur et la persistance de cet effet. Néanmoins, cet exemple témoigne de l'étendue des influences qui peuvent s'exercer sur la demande future en transport.



2.4 Transitions économiques

2.4.1 De l'économie du produit à l'économie du savoir

D'une économie centrée sur la production de biens manufacturiers, les pays les plus industrialisés sont passés à une économie axée sur les services et ils s'acheminent maintenant de plus en plus vers une économie du savoir. Au Québec, les emplois dans les secteurs de savoir élevé représentaient 13,6 % de la main-d'œuvre en 1987 contre 18,4 % en 2004 (Chartrand-Beaugard et Gingras, 2005). Constituant en partie ce qui est désormais appelé la « classe créative » (Florida, 2011), les détenteurs de ces emplois se concentrent dans les grands centres urbains, ce qui, par ailleurs, encourage la densification des villes. Ce profil d'emploi accentue le besoin de contacts face à face avec des pairs, ce qui amène à privilégier la proximité géographique.

De plus, ce type d'emploi – conjugué à la disponibilité d'outils électroniques portables qui permettent à l'utilisateur de rester connecté au reste du monde où qu'il soit – ne nécessite plus une présence continue en un lieu déterminé. Dans bien des cas, l'aller-retour quotidien à heures fixes n'est plus nécessaire, ce qui devrait amener une réduction du trafic aux heures de pointe, pour autant que les entreprises emboîtent le pas de la flexibilité des horaires et des lieux de travail. Les outils électroniques ont permis le nomadisme professionnel (The Economist, 2008). On fait cependant face à une complexité accrue des déplacements – ceux-ci se ramifiant et se multipliant – ce qui oblige à jeter un regard nouveau sur la façon dont s'exerce la mobilité et sur les solutions possibles aux problèmes qu'elle soulève.

2.4.2 De l'économie de la fonctionnalité à l'économie du partage

Par ses caractéristiques de simplicité et d'interactivité, le Web 2.0 a considérablement élargi les possibilités de partage entre les consommateurs eux-mêmes, qu'il s'agisse de partage d'informations (Wikipedia, 2001), de photos (Flickr, 2004), de vidéos (Youtube, 2005), d'opinions (Twitter, 2006) ou d'expériences personnelles (Facebook, 2006). Aussi appelée « consommation collaborative » et intimement liée à l'essor des échanges en ligne, l'économie du partage met l'accent sur l'accès à un bien ou un service, plutôt que sur la propriété. Il s'agit en sorte d'un nouveau système d'échanges, basé sur de nouvelles formes de relations entre les individus rendues possibles par le numérique.

Maintenant bien ancrée dans les mentalités, l'économie du partage contribue déjà à redéfinir les modes de transport (The Economist, 2013; The Week, 2012). Dans de nombreux pays à travers le monde, des systèmes de vélopartage (Bixi, Velib, Ecobici, Niceride, Call-a-bike, Mobilicidade, etc.) et d'autopartage (Communauto, Autosshare, Autolibre, Zipcar, GoGet, Stattauto, Mobolib, etc.) ont été mis sur pied et brisent la dépendance à l'automobile personnelle.

De ces systèmes publics ou privés offrant des services à l'utilisateur, nous sommes maintenant passés – grâce aux possibilités offertes par Internet – à des services de location d'utilisateur à usager, aussi bien pour louer sa voiture personnelle à des inconnus (Buzzcar, Getaround, RelayRides, Tamyca, Wheelz, Whipcar, etc.), que pour offrir un service de taxi ad hoc (Lyft, SideCar, Uber, Weeels, etc.), ou même louer son propre espace de stationnement (Airbnb pour autos).



Avec la généralisation de ce type de services, on peut s'attendre à ce que de plus en plus de gens privilégient l'accès à un mode de transport plutôt que sa possession. Dans une telle éventualité, on peut s'attendre à une diminution du nombre d'autos et une réduction de la congestion, mais aussi à une amélioration de l'accès. Les efforts d'amélioration de l'offre de services en transport devraient tenir compte de cette nouvelle donne.

2.4.3 Généralisation du commerce électronique

Internet a également offert une autre façon de faire ses achats et ses transactions. Les flux électroniques ont en partie remplacé les flux physiques : il est désormais possible de payer ses comptes, d'acheter un voyage et de visiter virtuellement des maisons à vendre sans sortir de chez soi. D'autres transactions, comme l'achat de biens matériels, donnent lieu au déplacement du produit vers le client et non plus l'inverse, ce qui, à grande échelle, devrait réduire le nombre de déplacements des consommateurs pour des fins de magasinage. Ce phénomène est d'ailleurs observé dans plusieurs pays dont les États-Unis et la Grande-Bretagne (McGuckin, 2011; The Economist, 2012). L'impact sur les déplacements commerciaux (par camion par exemple) doit encore être évalué.

En 2011, le commerce électronique représentait 5,6 milliards de dollars au Québec. Plus de la moitié des adultes avaient acheté en ligne et la proportion atteignait 72 % chez les 18-44 ans (CEFRIQ, 2011). D'autres conséquences de ce nouveau mode d'achat sont l'augmentation des livraisons à domicile et la hausse concomitante du parc de camions légers : au Québec, leur nombre s'est accru de 130 % entre 1990 et 2008 (Office de l'efficacité énergétique, 2011).

2.4.4 Possible régionalisation de l'économie

Certains indices laissent penser que l'on assiste à une **relocalisation d'entreprises** et ce, afin d'être plus compatible avec les exigences logistiques telles le juste-à-temps, l'agilité logistique, la différenciation retardée et le réapprovisionnement continu. L'ampleur de la tendance reste encore à déterminer, mais soulignons le succès de l'entreprise catalane *Zara* qui, grâce à la pratique de réapprovisionnement continu, couplée à une stratégie de réduction des temps de cycle, a la capacité de réagir rapidement aux fluctuations de la demande et de renouveler fréquemment le stock de ses magasins car elle fabrique délibérément ses vêtements en petites quantités en Espagne même. Si la tendance à la régionalisation s'accroît, le volume de produits provenant par avion et par mer pourrait diminuer au profit d'une hausse de produits transitant par camion sur de plus courts trajets.

Dans le secteur agroalimentaire, une **valorisation des produits locaux** semble émerger, que l'on pense aux fromages québécois, aux viandes, aux produits maraîchers ou aux bières locales. Si la demande pour de tels produits continue d'augmenter, cela pourrait signifier une baisse du nombre de déplacements par camion sur de grandes distances car les produits transitent moins par les centres de distribution.

Jusqu'à récemment utilisée surtout pour la création de prototypes, **l'impression 3D** (ou tridimensionnelle, dite aussi « production additive ») devient de plus en plus populaire et pourrait signifier une relocalisation de la production plus près des consommateurs car elle nécessite très peu de main-d'œuvre (Manners-Bell et Lyon, 2012). Il n'est pas impensable que dans un laps de temps relativement court, on puisse produire tout près de



chez soi une panoplie d'articles d'usage courant. L'évolution de cette technologie est à surveiller de près, étant donné l'implication que cela peut avoir sur l'économie en général et aussi sur les transports. On pourrait s'attendre à une diminution des flux physiques au profit des flux électroniques. Mais il faudra aussi évaluer les déplacements requis pour assurer l'alimentation, en matériaux de base, de ces imprimantes 3D.

2.5 Tendances urbanistiques favorisant la densification

Il est reconnu que les résidents des centres urbains caractérisés par la densité et la mixité de fonctions ont tendance à posséder moins d'automobiles et conduisent moins que ceux habitant en périphérie (Litman, 2008). Comme la tendance actuelle un peu partout est à la densification des villes, à la création de zones piétonnes, à la mise en place d'infrastructures pour le vélo et de mesures d'apaisement de la circulation, et ce, même en banlieue, on peut s'attendre à des répercussions sur la possession et la conduite automobile, et incidemment, sur ses conséquences comme la congestion et les émissions de gaz à effet de serre.

Ces changements urbanistiques découlent de plusieurs facteurs, notamment de :

- 1) l'économie du savoir, qui amène les gens à rechercher davantage la proximité de leurs pairs;
- 2) du vieillissement de la population caractérisé par un retour des personnes âgées en ville, près des services;
- 3) des jeunes générations qui montrent une préférence pour la vie urbaine, qui offre plus d'opportunités;
- 4) du fardeau de plus en plus lourd des municipalités qui les amène à se densifier afin d'accroître leurs recettes fiscales et de réduire leurs nouvelles dépenses en infrastructures;
- 5) du souci de plus en plus prononcé pour une meilleure qualité de vie en milieu urbain.

Ainsi, aux États-Unis, les données de recensement analysées par la Brookings Institution révèlent que pour la première fois depuis les années 1920, 27 des 51 villes les plus peuplées ont connu une croissance supérieure en leur centre que dans leur banlieue en 2010-2011 (Frey, 2012). Dans les villes de plus petite taille (entre 150 000 et 1 million d'habitants), la tendance est la même (Smart Growth America, 2012). Des analyses de marché pour l'habitation aux États-Unis prévoient que la demande pour des lots plus petits et des maisons en rangée ira en augmentant au détriment de la demande pour des lots plus grands (Nelson, 2006).

Si ces tendances persistent, il faudrait repenser le modèle de développement des infrastructures de transport de façon à tenir compte des changements opérés – ou à tout le moins souhaités – dans les comportements de mobilité. Les villes plus denses sont plus propices aux déplacements actifs, de même qu'à la mise en place d'un système efficient de transport collectif; elles requièrent moins de nouvelles infrastructures routières et elles diminuent les distances à parcourir.



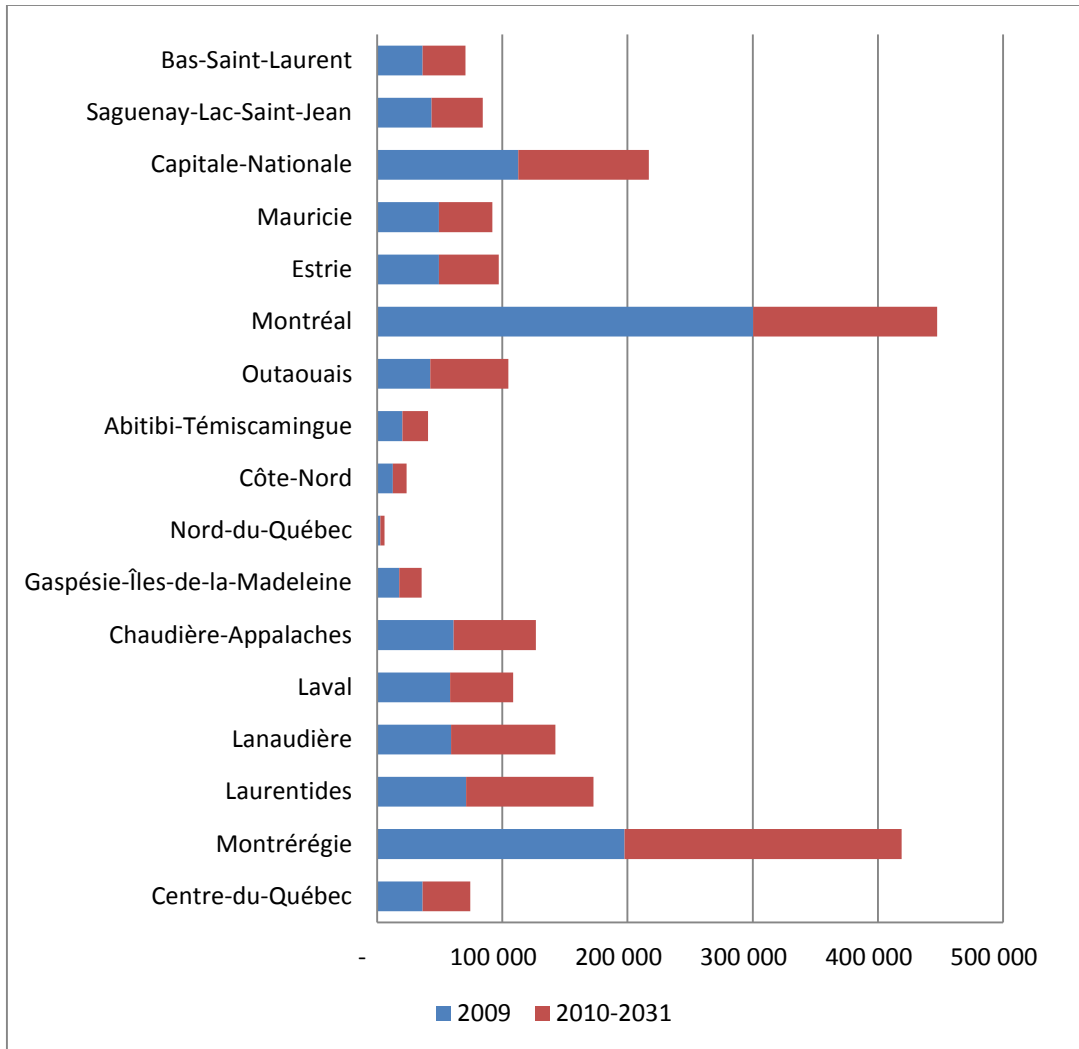
2.6 Transitions démographiques

2.6.1 L'impact des baby-boomers vieillissants

Le vieillissement de la population n'est pas un phénomène nouveau mais son ampleur, avec la cohorte des baby-boomers atteignant l'âge de la retraite, est assez récente et à examiner de près, étant donné l'impact que cela aura sur la mobilité de ce segment de plus en plus important de la population. Même si ceux-ci conduisent plus que leurs pairs des générations précédentes, on note qu'ils parcourent de plus courtes distances une fois rendus à l'âge de la retraite. Ceux qui quitteront la banlieue pour la ville afin de se rapprocher des activités de loisirs et des services – entre autres les services médicaux – pourront opter pour des alternatives à l'automobile, soit par choix, soit par nécessité en raison de contraintes physiques limitant leur capacité de conduire.

Selon des experts du domaine, ce segment de la population est appelé à influencer l'étendue des stratégies de transport visant à répondre à leurs nouveaux besoins de mobilité (McGuckin et Lynott, 2012). Ces experts montrent que les baby-boomers américains ont commencé à réduire le nombre de leurs déplacements en auto à partir de 1995 au profit d'une hausse de leurs déplacements en transport collectif. À cet égard, il sera intéressant de suivre les mouvements de localisation de cette cohorte au cours des prochaines décennies afin de voir où il serait plus pertinent de prévoir des modes de transport répondant aux besoins spécifiques de cette clientèle. On peut déjà présumer que la sécurité et l'accès sont deux enjeux qui prendront plus d'importance.

Au Québec, les régions de Montréal et de la Montérégie étaient celles qui comptaient le plus de personnes âgées de 65 ans et plus en 2009 (Institut de la statistique du Québec, 2009; Statistique Canada, 2010). Mais d'ici 2031, neuf des 17 régions du Québec verront leur proportion de personnes âgées plus que doubler, les augmentations les plus fortes se retrouvant en Montérégie, dans les Laurentides, dans Lanaudière et en Outaouais. En Montérégie les personnes de 65 ans et plus passeront de 197 671 en 2009 à 418 893 en 2031 (Figure 2).



Source : Institut de la statistique du Québec, 2009; Statistique Canada, 2010.

Figure 2. Augmentation du nombre de personnes de 65 ans ou plus par région socio-sanitaire au Québec entre 2009 et 2031

2.6.2 La génération du millénaire

La génération Y (ou du millénaire) faisant référence aux jeunes nés entre 1980 et 2000 est en train de redéfinir la mobilité telle qu'elle s'est exercée au cours des 60 dernières années. Dans de nombreux pays riches dont le Canada, les États-Unis, l'Allemagne et la Grande-Bretagne, les jeunes de cette génération obtiennent leur permis de conduire plus tard qu'auparavant (Sivak et Schoettle, 2011); de plus, ils conduisent moins et sont moins portés à acheter une automobile. Ils sont, par contre, plus enclins à utiliser d'autres modes de déplacement comme le transport collectif et le vélo (Litman, 2013). Nés avec les technologies de l'information, ils n'accordent pas la même place à l'auto que leurs prédécesseurs; celle-ci est vue plus comme un instrument que comme une aspiration. Les médias sociaux leur donnent cet accès au monde extérieur qui était autrefois associé à l'automobile (The Economist, 2012). Un changement intergénérationnel dans le style de vie et les préférences des consommateurs est en train de s'opérer et ses répercussions sur



la demande en transport commencent à émerger (Polzin et al, 2011). La génération du millénaire accorde moins d'importance à l'automobile et à la vie en banlieue.

En 1983, 87,3 % des jeunes Américains âgés de 19 ans possédaient un permis de conduire contre 69,5 % en 2010 (Sivak et Schoettle, 2011). Toujours aux États-Unis, entre 2001 et 2009, le nombre moyen de véhicule-kms parcourus par les 16-34 ans a chuté de 23 %, passant de 10 300 à 7 900 kilomètres (Davis et al, 2012); dans le même intervalle, ce segment de population a effectué 24 % plus de déplacements à vélo, s'est déplacé 16 % plus souvent à pied et a accru de 40 % son nombre de passager-kms parcourus en transport collectif. Rappelons que les nouvelles technologies de l'information ont rendu ce dernier mode de transport plus convivial. Leur expérience de la multimodalité est susceptible d'influencer leur comportement futur en transport.

Ayant atteint la maturité à l'ère de l'économie du partage, les jeunes de cette génération sont de plus en plus nombreux à privilégier l'accès plutôt que la possession. Mais frappés de plein fouet par la récession, le chômage et la hausse du prix de l'essence, ils préfèrent aussi allouer leurs ressources limitées aux outils électroniques qui leur permettent de rester en contact permanent avec le reste du monde. Le téléphone intelligent a supplanté l'automobile dans leurs aspirations matérielles. Enfin, ils sont plus nombreux que ceux des cohortes précédentes à préférer la vie dans un milieu urbain offrant l'accès à une panoplie de services et facilitant la rencontre avec les pairs (Davis et al, 2012).

2.6.3 La mobilité différente des femmes

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une tendance émergente comme telle, il importe de suivre de près le comportement des femmes en matière de transport car il diffère de celui des hommes, bien que moins qu'auparavant. Comparativement aux hommes, les femmes effectuent plus de déplacements par jour et ces déplacements sont plus courts, aussi bien en temps qu'en distance (Morris et al, 2010; Santos et al, 2011). Elles effectuent des chaînes de déplacement plus complexes, faisant plus d'arrêts lors du trajet au travail, matin et soir (Baldwin et Fagan, 2007). Elles sont moins souvent seules en auto car elles assument une plus grande part des déplacements liés à la famille, qu'il s'agisse de faire les courses ou de reconduire les enfants et les aînés (McGuckin, 2005). Elles sont moins portées à se déplacer à vélo que les hommes, mais utilisent plus fréquemment qu'eux la marche et le transport collectif pour se rendre à destination (Garrard 2009; Larsen et al. 2010; Mercado and Paez 2007).

2.7 Implications pour la planification du transport

Il n'est évidemment pas possible de prédire avec exactitude la demande future en transport. L'apparition de nouvelles innovations pourrait changer les tendances actuelles, sans que l'on sache encore de quel domaine elles émergeraient. Ce survol des changements économiques, démographiques, culturels et technologiques récents montrent à quel point ceux-ci sont imbriqués et peuvent agir sur la demande en transport au même titre – et parfois davantage – que les facteurs directement liés au domaine du transport. Des activités de veille dans tous les domaines susceptibles d'influer la demande en transport devraient être réalisées constamment afin d'être à l'affût des nouvelles tendances.



Pour mieux saisir les changements dans la demande et y répondre adéquatement, il importe d'éviter les simples extrapolations à partir du passé et d'adopter plutôt une approche multi-tendances tenant compte des tendances économiques et urbanistiques émergentes, de l'évolution démographique, des changements dans les modes de vie, et du lien de tous ces facteurs avec les nouvelles technologies et leurs potentialités.

Les modèles de prévision de la demande de transport utilisés au Québec intègrent déjà plusieurs composantes qui assurent la prise en compte de tendances comportementales observées pour différents segments de population (démographie, motorisation, distribution spatiale des pôles d'emplois, etc.). Une veille autour des changements discutés dans cette section permettra d'alimenter la démarche de formulation d'hypothèses quant aux tendances qui doivent ou non être intégrées dans les modèles.

3 Méthodes d'enquête sur la mobilité

En juillet 2012, la Chaire a déposé une première note technique relative aux méthodes d'enquête¹. D'autres aspects liés aux méthodes d'enquête sont actuellement examinés. Les résultats seront dans le prochain rapport d'activités ou consolidés dans une seconde note technique.

3.1 Première note technique sur les méthodes d'enquête

Les thématiques suivantes ont été abordées dans la première note technique:

- Défis liés à la méthodologie générale des enquêtes OD montréalaises

Dans cette section, différents défis auxquels font face les enquêtes, à Montréal et à travers le monde, sont discutés, ainsi que certaines opportunités. Au niveau des défis, on peut identifier les taux de réponse déclinant, les difficultés liées au recrutement d'enquêteurs de qualité, le manque de ressources financières ou les difficultés liées à la composition d'une base de sondage représentative.

- Évaluation du questionnaire typique d'enquête

Cette section propose une évaluation du questionnaire typique d'enquête, notamment une hiérarchisation des questions (questions essentielles à la production des faits saillants, questions essentielles pour les faits saillants mais non disponibles, questions d'utilité démontrée et utilisées par les partenaires, questions dont l'utilité est en démonstration par les partenaires ou par des tiers (validation encore requise, intérêt à valider). Certaines questions sont aussi directement évaluées

- Biais possibles et mécanismes d'évaluation

Cette section propose une définition des différents types d'erreurs qui peuvent induire un biais dans l'estimation des indicateurs. Certains de ces biais sont ensuite discutés et les méthodes possibles pour les estimer sont présentées.

- Constats généraux et recommandations

La dernière section propose une synthèse des principaux constats tirés de l'évaluation ainsi que des recommandations, notamment l'idée de faire évoluer l'enquête vers un ensemble d'enquête centrale – enquêtes satellites qui permettrait de mieux répondre aux questions émergentes tout en assurant les besoins typiques d'analyse.

3.2 Thématiques actuellement examinées en liens avec les méthodes d'enquête

La Chaire examine actuellement les éléments suivants :

¹Chaire Mobilité (2013). Note technique sur les enquêtes Origine-Destination montréalaises Synthèse, pistes de questionnement et recommandations, Version révisée, Polytechnique Montréal, 36 pages



- Biais du répondant

Une analyse statistique est actuellement conduite afin de documenter les différences d'indicateurs de mobilité entre ceux qui sont directement répondants à l'enquête et ceux dont l'information de mobilité est déclarée par un autre individu. Cet enjeu est typiquement discuté sous le terme de « biais du répondant ». Différents indicateurs de mobilité sont examinés (taux de mobilité, taux de mobilité travail, part des déplacements à différentes périodes de la journée, etc.) à l'aide de modèles statistiques afin d'évaluer si les différences sont significatives, tout en contrôlant pour d'autres variables qui déterminent les comportements de mobilité (âge, genre, etc.).

- Validation de la variable possession automobile des ménages

Des simulations ont été réalisées afin d'évaluer le nombre de véhicules requis, dans chaque ménage, afin d'assurer les déplacements faits en automobile-conducteur qui ont été déclarés par tous les membres du ménage. Les résultats de la simulation sont ensuite comparés à la possession automobile déclarée par le ménage et identifier les ménages qui ont plus de véhicules que nécessaire (pour un jour moyen de semaine), autant de véhicules que nécessaire ou moins de véhicules que nécessaire.

- Perspectives sur la valorisation des données d'enquête OD

La Chaire travaille aussi sur différentes perspectives de valorisation des données d'enquête. Deux objectifs sont ciblés :

- Discuter de nouvelles utilisations des données disponibles par une utilisation différente des données (l'utilisation de sous-échantillons repondérés de données pour mieux comprendre certains phénomènes qui varient pendant l'automne ou entre les semaines).
- Proposer des pistes pour le renouvellement des mécanismes actuels de diffusion des résultats issus des enquêtes : proposition de nouveaux produits de diffusion qui pourraient être diffusés séquentiellement dans les mois et années suivant l'enquête.



4 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 des 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, au besoin, 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.



4.1 Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils – indicateurs de congestion, indicateurs d'équité

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

****** LE TEXTE QUI SUIT EST UN EXTRAIT DU DOCUMENT NON FINAL DE THÈSE DE LOUISELLE SIOUI – des éléments pourront être différents dans la thèse finale ******

4.1.1 Introduction

Globalement, ce projet de recherche se penche à la fois sur les réflexions substantielles liées à la mobilité durable, ainsi que sur le développement de méthodes visant à concrétiser ce concept. Cette section présente l'avancement de la partie plus substantielle de ce projet de recherche, plus spécifiquement l'identification des thématiques reliées au concept, la sélection et la pertinence des indicateurs, les liens de causalité entre une intervention et les indicateurs adéquats, l'identification des types de besoins par les décideurs.

Problématique générale

Suite à la Loi sur le développement durable (2007) et la croissance des préoccupations quant aux impacts négatifs des externalités environnementales et sociales, les différentes organisations planificatrices en transport souhaitent intégrer le développement durable dans leurs décisions.

Or, le concept de développement durable - et donc celui de mobilité durable - est ambigu et vaste (Gendron & Revéret, 2000), ce qui complique son opérationnalisation. Ce sont les définitions qui, peu précises, engendrent cette ambiguïté. Les définitions les plus utilisées sont celles :

1. Du rapport Brundtland (Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, 1987): « Répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. » Cette définition implique de grandes incertitudes quant aux besoins des générations futures, étant donné qu'ils dépendent de variables inconnues comme le profil démographique, les avancées technologiques et les problématiques environnementales.
2. Des trois sphères : Interaction ou équilibre à atteindre entre les dimensions économique, sociale et environnementale.

Cependant, ces définitions peu précises et vastes donnent un sens au concept, tout en laissant place à différentes interprétations. Cela lui confère l'avantage d'être adaptatif



selon le contexte et l'acteur. Ainsi, pour s'approprier le concept, l'acteur doit développer une vision appropriée et les préoccupations qu'il juge prioritaires selon son domaine d'activité et selon le contexte social dans lequel il évolue. En somme, le concept même de mobilité durable, par sa définition, évolue dans le temps et varie selon l'acteur qui souhaite la mettre en œuvre. Ces caractéristiques engendrent le besoin de développement d'un outil qui clarifie le concept de mobilité durable tout en respectant son caractère adaptatif.

La clarification du concept de mobilité durable, en utilisant la seconde définition du développement durable présentée ci-haut, implique :

- la recension des impacts bénéfiques et néfastes de la mobilité sur chacune des trois dimensions;
- la mise en évidence des relations de causalité qui existent entre ces impacts;
- la mise en évidence des relations entre ces impacts et
 - les mesures et projets à mettre en œuvre en transport,
 - les cibles environnementales, économiques et sociales visées par les acteurs et
 - les notions de mobilité utilisées traditionnellement par les planificateurs en transport;
- La sélection d'indicateurs appropriés à mesurer.

Principalement, un outil intégrant ces objectifs sert pour les planificateurs en transport à :

- Intégrer systématiquement les trois dimensions du développement durable dans un plan de transport;
- Valoriser des solutions novatrices, grâce à l'identification de l'éventail des impacts d'une mesure à mettre en place, en vue d'atteindre une cible;
- Faire le lien avec des organismes responsables d'autres disciplines (système de santé, urbanisme, système hydraulique, écosystème, ...) et la contribution des interventions en transport à l'allègement des enjeux problématiques dans ces autres disciplines;
- Mettre en évidence les paramètres de mobilité traditionnels pour lesquels la méthodologie d'estimation, le niveau d'agrégation, la collecte de données sont à développer ou à améliorer;
- Mettre en évidence les indicateurs pour lesquels une méthodologie est à développer ou à améliorer.

Objectifs

L'objectif général de cette étude est de clarifier le concept de développement durable appliqué à la mobilité pour les planificateurs en transport. Cette clarification passe par le développement d'un processus systématique (1) d'identification des impacts causés par des mesures à mettre en œuvre par les décideurs, (2) de proposition de mesures à mettre en œuvre pour atteindre une cible fixée relativement à un impact spécifique et (3) d'identification d'indicateurs appropriés à estimer dans les deux situations précédentes.



Quoiqu'il en soit, l'outil proposé doit être adaptatif selon le contexte et les objectifs de l'utilisateur, par exemple le mode de transport, les échelles et les limites spatiales et temporelles.

Plus précisément, cette étude vise à développer un outil d'aide à la décision qui :

- **Clarifie** la durabilité appliquée à la mobilité (mobilité durable);
- Pour une intervention ciblée, **identifie l'éventail de ses impacts** sur les trois dimensions de la durabilité;
- Pour un impact ciblé, **identifie des interventions appropriées**;
- Pour un contexte défini (limites géographiques, échelles spatiales et temporelles, mode de transport, cible, scénario, ...), **identifie des indicateurs appropriés à mesurer**.

4.1.2 Méthodologie générale

Le processus méthodologique se définit comme suit :

1. Revue de littérature sur les impacts de la mobilité sur les trois dimensions du développement durable
2. Schéma statique
 - 2.1. Représentation par catégories de ces impacts sous forme schématique statique
 - 2.2. Énoncé des limites de cette représentation
3. Schéma interactif
 - 3.1. Représentation de ces impacts sous forme schématique interactive, avec intégration des liens de causalité
 - 3.2. Intégration des paramètres de mobilité au schéma interactif, afin de compléter les chaînes de causalité
 - 3.3. Intégration des mesures possibles à mettre en œuvre par les décideurs
 - 3.4. Énoncé des potentialités d'ajouts à la représentation interactive
 - 3.4.1.[À venir] Application à un organisme de transport existant, voir à un plan de mobilité durable récemment publié
 - 3.4.2.[À venir] Intégration des indicateurs au schéma interactif
 - 3.4.3.[À venir] Ajout d'un sens aux liens de causalité (désiré, non désiré)
 - 3.4.4.[À venir] Ajout d'un ordre de grandeur aux impacts

4.1.3 Résultats

Le schéma statique des impacts de la mobilité durable est d'abord présenté en soulignant ses limites. Ensuite, le schéma interactif est illustré à l'aide d'un exemple, et ses potentialités à venir sont énoncées.

Schéma statique de la mobilité durable : une pieuvre aux multiples tentacules

Présentation du schéma statique

La Figure 3 présente le schéma statique, soit une synthèse des impacts de la mobilité sur les trois dimensions du développement durable. Cette synthèse est issue d'une large revue de littérature sur les impacts de la mobilité. Chaque impact est illustré sous forme de



bulle colorée selon son appartenance à une dimension (bleu pour économie, rouge pour société et vert pour environnement). Les impacts sont catégorisés et sous-catégorisés à l'intérieur de ces dimensions. Les catégories sont reliées par des liens. Ces liens tracés ne montrent que l'appartenance d'un impact de la mobilité à une catégorie, et ultimement à une dimension, ayant trait au développement durable. Aussi, un même impact de la mobilité abordé dans la littérature sous des angles totalement différents peut se retrouver à plusieurs endroits différents dans l'arbre. Par exemple, les polluants atmosphériques dans l'air – dimension environnement - qui engendrent des problèmes de santé humaine – dimension sociale -, qui a leur tour nécessitent des investissements collectifs en soins de santé – dimension économique. Donc, ce schéma statique illustre ces impacts, sans toutefois montrer les liens entre eux.



La bulle de départ est le développement durable. Puisque le développement durable repose sur trois dimensions (société, économie, environnement), ces dernières occupent le premier palier du schéma. Le second palier comprend les enjeux globaux auxquels la société et les individus font face ou feront face relativement aux trois dimensions :

- Environnement : la pollution, les changements climatiques, la consommation de ressources naturelles renouvelables et non renouvelables, la préservation de la faune et de la flore;
- Société : la justice sociale et la qualité de vie;
- Économie : à la fois pour l'individu et la collectivité, (1) les coûts et dépenses directes et les externalités, ainsi que (2) les revenus directs et des retombées économiques.

La Figure 4 illustre la dimension environnement. Les impacts environnementaux répertoriés sont les suivants :

- La pollution
 - La pollution de l'air par les principaux polluants atmosphériques urbains, notamment le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO et N₂O), les composés organiques volatiles (COV), l'ozone (O₃), les oxydes de carbone (CO et CO₂), le plomb (Pb), les hydrocarbures aromatiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP - et hydrocarbures aromatiques monocycliques - HAM) et les particules fines en suspension (PM10 et PM2.5);
 - La pollution de l'eau par, par exemple, les métaux lourds et les hydrocarbures issus de la consommation d'essence, ainsi que les sels de déglacage;
 - La pollution lumineuse par les phares des véhicules et l'éclairage des voies;
 - Le bruit issu de la circulation des véhicules à moteur;
 - La pollution du paysage par la présence des infrastructures de transport.
- Les changements climatiques
 - À l'échelle planétaire, qui sont amplifiés par les émissions de gaz à effet de serre issues des véhicules à moteur;
 - À l'échelle locale, qui s'identifient par la création d'îlots de chaleur auxquels contribuent la présence des infrastructures de transport et les émissions issues des véhicules à moteur.

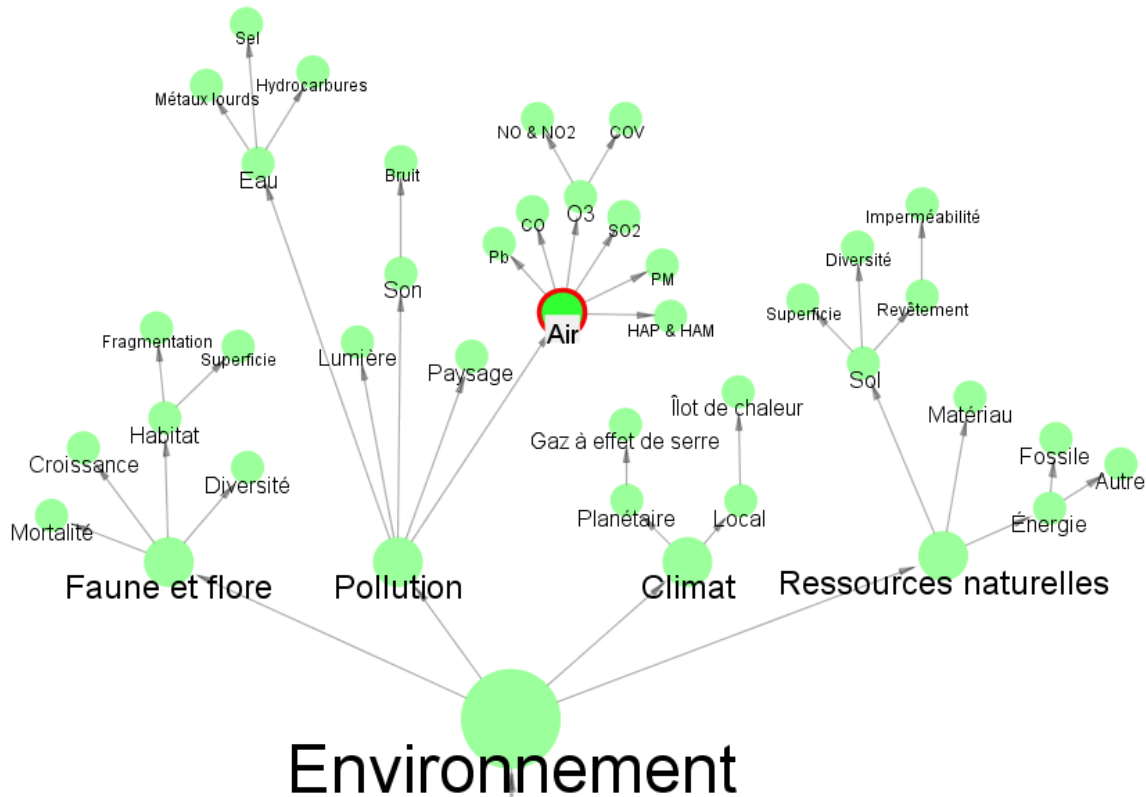


Figure 4. Les impacts de la mobilité sur la dimension environnement du développement durable

- La consommation de ressources naturelles renouvelables et non renouvelables
 - L'utilisation d'espace au sol qui se caractérise à la fois par la superficie d'utilisation par les infrastructures, le type de revêtement des infrastructures qui influence l'imperméabilité des sols, ainsi que la diversité des usages au sol;
 - La consommation d'énergie, issue de combustibles fossiles ou d'autres sources d'énergie comme l'hydroélectricité;
 - La consommation de matériaux utilisés pour la construction de véhicules et d'infrastructures de transport.
- La préservation de la faune et de la flore
 - La croissance des plantes affectée par les différents polluants émis;
 - La diversité des espèces fauniques et florales;
 - La mortalité des individus d'une espèce, suite par exemple à des collisions avec des véhicules;
 - L'habitat naturel dont la superficie et la fragmentation sont influencées par la présence des infrastructures de transport.



La Figure 5 illustre la dimension société du schéma statique des impacts de la mobilité durable. Les impacts sociaux répertoriés sont les suivants :

- La qualité de vie
 - L'accessibilité aux opportunités (services, emploi, ...) et aux modes de transport. L'accessibilité aux modes de transport a trait à la qualité de l'offre, qui varie selon la qualité de l'information à l'utilisateur, les options de transport disponibles (qui permet la multimodalité) et l'efficacité du déplacement (rapidité, fiabilité et variabilité du déplacement);
 - La valorisation du temps incluant la réalisation d'activités autres que la conduite durant le déplacement, et la substitution du temps en déplacement par d'autres activités comme le loisir, la famille ou le travail;
 - La santé humaine, comprenant la possibilité de socialisation, le stress engendré par le déplacement, l'activité physique réalisée lors des déplacements qui contribue à la lutte contre le mode de vie sédentaire, l'exposition aux polluants, ainsi que les questions de sécurité et d'agressions liées aux accidents lors des déplacements;
 - La communauté locale, dont l'agréabilité et la cohésion sociale sont influencés par l'aménagement des infrastructures de transport et l'utilisation de transports actifs.

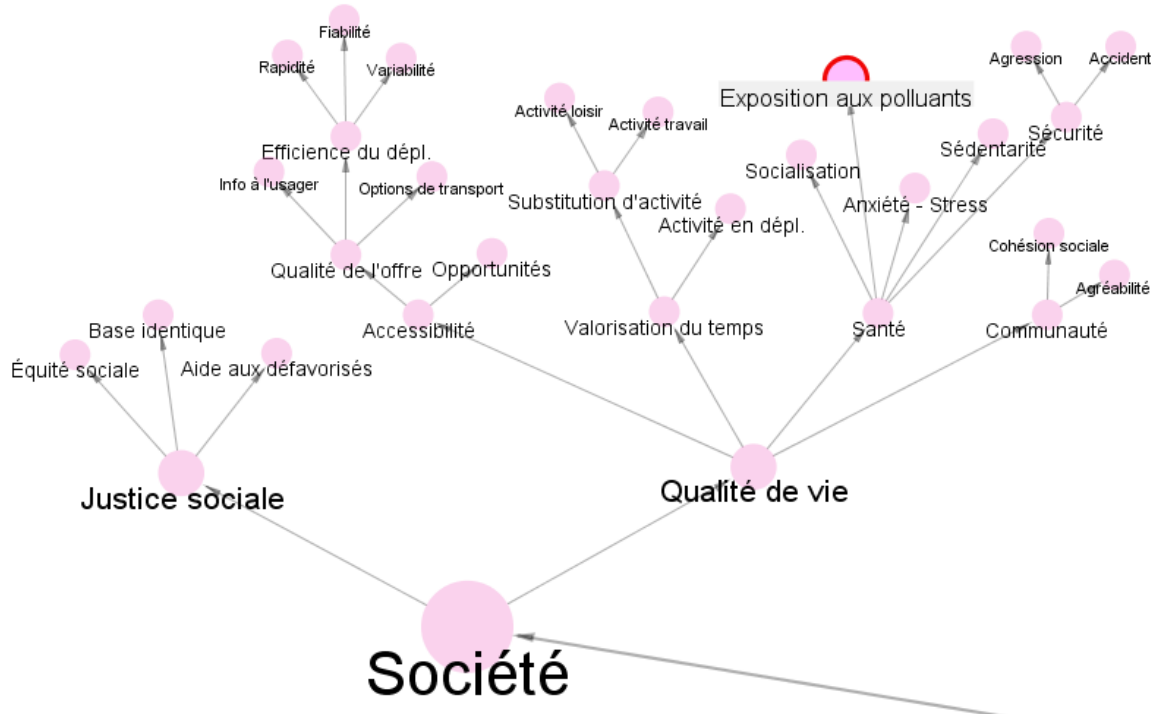


Figure 5. Les impacts de la mobilité sur la dimension société du développement durable

- La justice sociale
 - Le principe de base identique pour tous, soit l'égalité d'accès aux services, aux emplois et aux biens;
 - Le principe d'équité sociale, soit la réduction des exclusions socio-démographiques;
 - L'aide aux défavorisés, soit l'existence d'inégalités touchant les plus démunis.

La Figure 6 illustre la dimension économie du schéma statique des impacts de la mobilité durable. Les impacts économiques répertoriés sont séparés en deux niveaux : individuel et collectif. Les impacts économiques individuels sont :

- Les revenus issus d'une activité travail nécessitant un déplacement;
- Les coûts
 - Les dépenses pour avoir accès à un mode de transport, qui comprennent s'il y a lieu les frais d'utilisation, les assurances, l'abonnement à un service, le stationnement, l'achat d'un véhicule, ...;
 - Les externalités liées aux coûts individuels en soins de santé et à la valeur du temps perdu en déplacement.

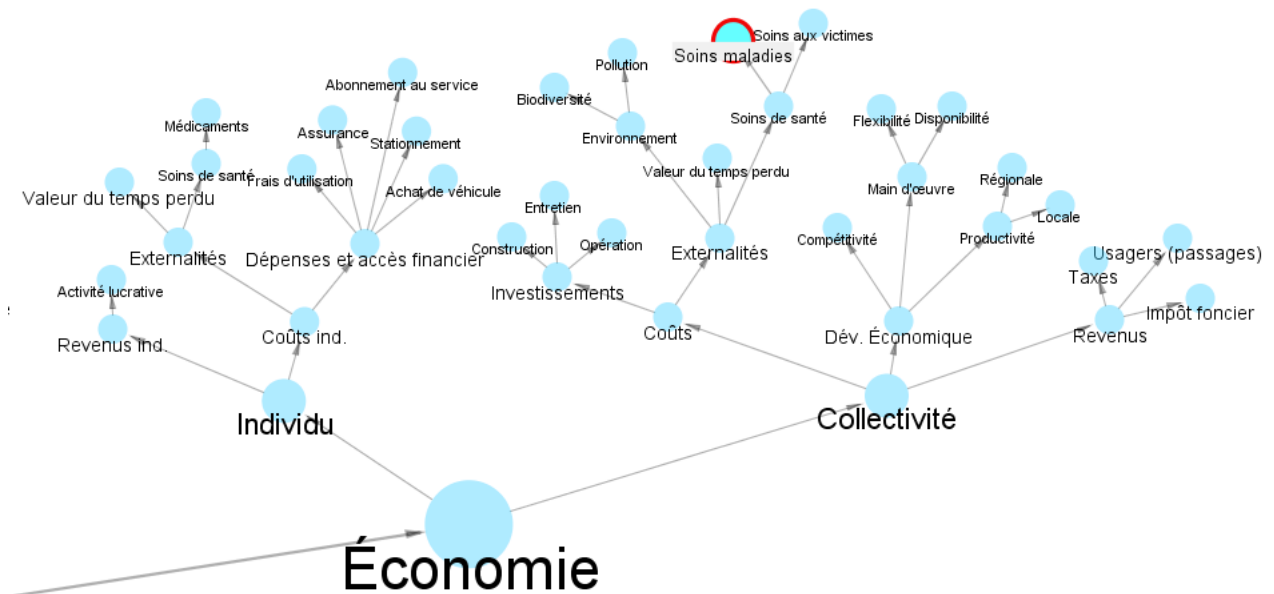


Figure 6. Les impacts de la mobilité sur la dimension économie du développement durable

Les impacts économiques de la mobilité sur la collectivité sont :

- Les revenus issus par exemple des taxes, de l'utilisation des réseaux et systèmes de transport par les usagers et de l'impôt foncier
- Le développement économique
 - La compétitivité du territoire à des échelles locales et régionales, accrue par des systèmes de transport efficaces;



- La productivité de la société à des échelles locales et régionales;
- La disponibilité et la flexibilité de la main d'œuvre est influencée par la qualité de l'offre de transport.
- Les coûts
 - Les investissements pour la construction, l'opération et l'entretien des réseaux de transport;
 - Les externalités liées aux coûts des systèmes de soins de santé et de soins aux victimes d'accidents, à la valeur du temps perdu en déplacement principalement en lien avec la productivité, ainsi qu'aux mesures de mitigation visant à limiter ou contrer les impacts environnementaux comme la pollution et la perte de biodiversité.

Limite du schéma statique

Tout d'abord, cette représentation met en avant la multiplicité des impacts de la mobilité à considérer. La visualisation et la synthèse deviennent difficiles en raison de la grande taille du schéma et de la grande quantité de bulles. De plus, certains impacts sont liés entre eux par des liens causaux, ce qui peut engendrer la redondance et le double comptage de certains impacts de la mobilité. Or, ces relations dites de causalité ne peuvent être représentées clairement dans ce type de schéma statique. En effet, relier les impacts entre eux créerait des liens (traits) horizontaux dans le schéma. Ajouter des traits pour toutes les relations de causalité rendrait encore plus « lourd » ce schéma.

De surcroît, dans ce schéma statique, il manque une mise en relation avec les notions de transport couramment utilisées par les planificateurs en transport : les interventions possibles à mettre en place, les cibles potentielles à atteindre, les paramètres d'offre et de demande traditionnellement estimés, ainsi que les indicateurs appropriés à estimer pour les différents impacts.

Afin d'alléger le schéma, d'en faciliter la compréhension et de maximiser son utilité auprès des planificateurs en transport, il sera nécessaire (1) de prioriser ou de regrouper certains impacts, (2) de représenter les relations de causalité et (3) d'intégrer les notions de transport couramment utilisées par les planificateurs en transport. Le schéma interactif présenté subséquent permet d'incorporer ces besoins.

4.1.4 Schéma interactif : un cercle

Présentation générale

La Figure 7 est une image réduite du cercle interactif initial. Le cercle est divisé en quatre sections principales auxquelles sont attribuées des couleurs:

- [Rouge] Impacts sociaux de la mobilité (8 paramètres)
- [Vert] Impacts environnementaux de la mobilité (7 paramètres)
- [Bleu] Impacts économiques de la mobilité (7 paramètres)
- [Gris] Indicateur caractérisant l'offre ou la demande (24 paramètres)

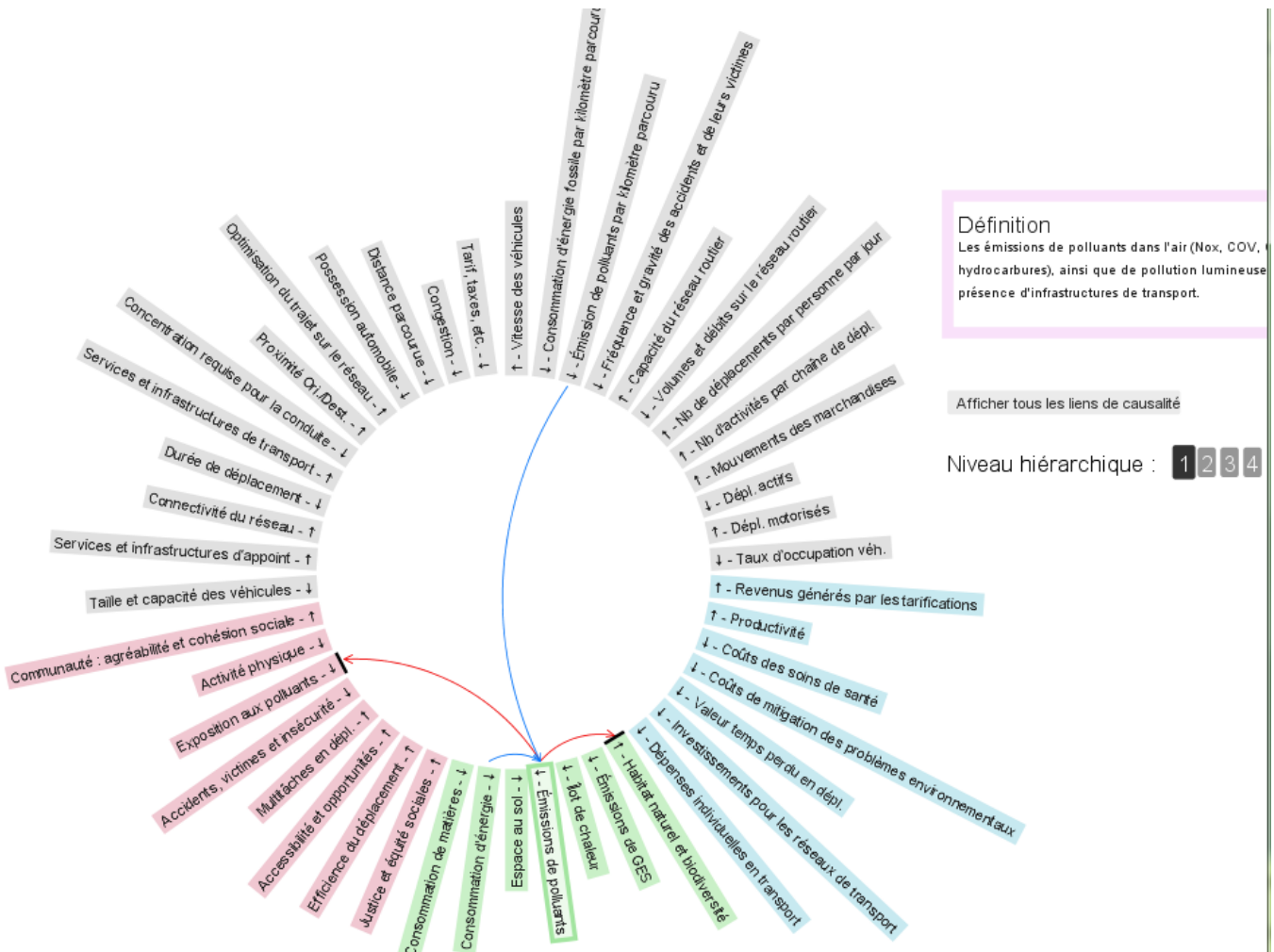


Figure 7. Cercle interactif initial

Chaque section comprend une série de paramètres à considérer, décrivant la mobilité ou ses impacts. Chaque paramètre est accompagné d'une flèche verticale indiquant le sens ultime souhaité.

Plusieurs paramètres présentés dans le schéma statique sont un regroupement d'impacts, souvent parce qu'ils découlent des mêmes causes et varient dans le même sens, et ce afin d'alléger le schéma en réduisant la taille du cercle interactif. Voici un résumé des paramètres représentant un impact sur une des trois dimensions qui ont été regroupés.

- Impacts sociaux :
 - L'agréabilité du quartier et la cohésion sociale ont été regroupées sous le paramètre « Communauté : agréabilité et cohésion sociale »;
 - Le paramètre « Exposition aux polluants » regroupe les polluants dans l'air, dans l'eau, ceux lumineux, sonores et du paysage;
 - Tout ce qui a trait aux agressions, aux accidents et leurs victimes, ainsi qu'au sentiment d'insécurité et à la perception du risque d'accident ou d'agression est regroupé sous le paramètre « Accidents, victimes et insécurité »;



- Le paramètre « Accessibilité et opportunités » comprend l'accès aux transports et aux opportunités, ainsi que la socialisation et la réalisation d'activités;
- Le paramètre « Efficience du déplacement » inclut la performance du réseau et la réduction du stress lié au déplacement.
- Impacts environnementaux :
 - Le paramètre « Consommation d'énergie » inclut toutes les formes d'énergie;
 - L'utilisation d'emprise au sol et l'imperméabilité du sol sont regroupées dans « Espace au sol »;
 - Le paramètre « Émissions de polluants » regroupe les polluants dans l'air, dans l'eau, ceux lumineux, sonores et du paysage;
 - Tout ce qui a trait à l'habitat naturel (superficie, fragmentation) et aux populations animales et végétales est compris dans « Habitat naturel et biodiversité ».
- Impacts économiques :
 - Le paramètre « Productivité » inclut la productivité et la compétitivité locales et régionales, ainsi que la disponibilité et la flexibilité de la main d'œuvre.

La section grise du schéma contient 24 paramètres. Essentiellement, ce sont des caractéristiques des véhicules, des déplacements, des réseaux de transport et des comportements de mobilité. **Le choix des paramètres inclus dans le cercle est sujet à discussion, et pourrait par exemple s'adapter en fonction du mode de transport ou de l'échelle appropriés aux projets de l'utilisateur dudit cercle.**

Cas simple illustrant une chaîne de causalité

Cette section présente un cas simple d'utilisation du cercle de causalité pour illustrer une chaîne d'impacts. La chaîne d'impacts choisie est la suivante.

Soit des véhicules à moteur à énergie fossile qui, en circulant, émettent moins d'émissions de polluants dans l'air qu'avant. Voici la chaîne de causalité expliquée en tableau, puis avec le cercle de causalité. Les flèches dans les tableaux (↑ / ↓) représentent le sens logique ou attendu des effets (et non nécessairement le sens désiré).

Intéressons-nous d'abord à la chaîne d'impacts [flèches rouges], et laissons de côté pour l'instant la chaîne de causes [flèches bleues].

Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 0

La Figure 8 présente le niveau hiérarchique 0, qui comprend les premiers effets [flèches rouges] d'un taux d'émission de polluant plus faible. Pour afficher les impacts à l'aide du schéma, le curseur doit pointer sur ce paramètre. Les impacts sont une diminution de la quantité d'émissions de polluants et de GES.



Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 1

La Figure 9 présente le niveau hiérarchique 1, qui comprend les seconds effets [flèches rouges] d'un taux d'émission de polluant plus faible, soit les effets premiers d'une diminution des : (A) Émissions de polluants et (B) Émissions de GES. La partie tableau de la Figure 9 présente textuellement les effets, dont l'exposition de la population aux polluants. La partie schématique de la Figure 9 présente les mêmes effets dans le cercle de causalité. Pour afficher les seconds impacts à l'aide du schéma interactif, le curseur doit pointer sur le paramètre de départ (Taux d'émission de polluants par kilomètre parcouru) et l'utilisateur doit cliquer sur le bouton gauche de la souris. Également, le « Niveau hiérarchique » sélectionné à droite doit être « 1 ».

Impacts environnementaux de la mobilité		
(A) Émissions de polluants		
↓ Émissions de polluants dans l'air		
Causes	-	Consommation d'énergie
	↓	Taux d'émission de polluants
Effets	↓	Exposition aux polluants
	↓	Habitat naturel et biodiversité
(B) Émissions de GES		
↓ Émissions de polluants dans l'air		
Causes	-	Consommation d'énergie
	↓	Taux d'émission de polluants
Effets	↓	Exposition aux polluants
	↓	Habitat naturel et biodiversité
	↓	Îlots de chaleur
	↓	Coûts de mitigation des problèmes environnementaux

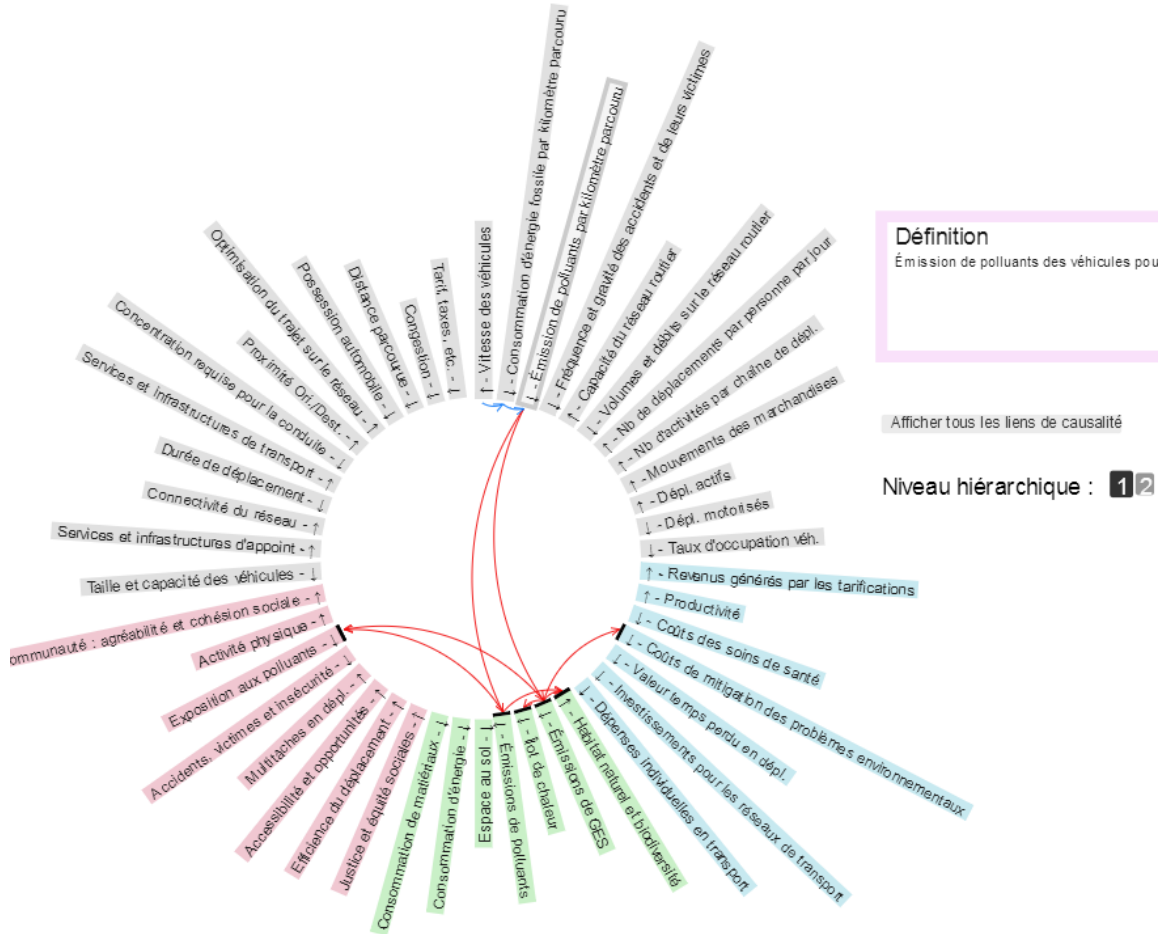


Figure 9. Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 1 : Diminution du taux d'émission de polluants par les véhicules, par kilomètre parcouru

Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 2

La Figure 10 présente le niveau hiérarchique 2, qui comprend les effets tiers [flèches rouges] d'un taux d'émission de polluant plus faible, soit les effets premiers des impacts de niveau 2 : (A) Habitat naturel et biodiversité, (B) Îlots de chaleur, (C) Exposition aux polluants, et (D) Coûts de mitigation des problèmes environnementaux. La partie tableau de la Figure 10 présente textuellement les effets. La partie schématique de la Figure 10 présente les mêmes effets dans le cercle de causalité. Pour afficher les impacts tiers à l'aide du schéma interactif, le curseur doit pointer sur le paramètre de départ (Taux d'émission de polluants par kilomètre parcouru) et l'utilisateur doit cliquer sur le bouton gauche de la souris. Également, le « Niveau hiérarchique » sélectionné à droite doit être « 2 ».

Impacts environnementaux de la mobilité

(A) Habitat naturel et biodiversité

↓ Perte de superficie et fragmentation de l'habitat d'espèces naturelles, ainsi que réduction de la biodiversité (perturbation de la croissance et mortalités).

Causes	-	Consommation de matériaux
	-	Espace au sol
	↓	Émissions de polluants
	-	Îlot de chaleur
	↓	Émissions de GES
Effets	↓	Coûts de mitigation des problèmes environnementaux

(B) Îlots de chaleur

↓ Contribution aux îlots de chaleur dans les quartiers, par la présence d'infrastructures, leur couleur de revêtement et la concentration de gaz à effet de serre dans l'air.

Causes	-	Espace au sol
	↓	Émissions de GES
Effets	↓	Justice et équité sociales
	↓	Habitat naturel et biodiversité
	↓	Coûts de mitigation des problèmes environnementaux
	↓	Coûts des soins de santé

Impacts sociaux de la mobilité

(C) Exposition aux polluants

↓ Exposition aux polluants dans l'air (NO_x, COV, CO, SO₂, particules fines, plomb, HAP et HAM) et dans l'eau (sel, métaux lourds, hydrocarbures), ainsi que de pollution lumineuse, sonore et du paysage.

Causes	↓	Émissions de GES
	↓	Émissions de polluants
Effets	↑	Communauté : agréabilité et cohésion sociale
	?	Justice et équité sociales
	↓	Coûts en soins de santé

Impacts économiques de la mobilité

(D) Coûts de mitigation des problèmes environnementaux

↓ Coûts collectifs des mesures de protection de l'environnement et de mitigation des problèmes environnementaux : perte et dégradation de l'habitat naturel et de la biodiversité, rareté des ressources naturelles, pollution sonore, gestion des eaux pluviales, etc.

Causes	?	Justice et équité sociales
	-	Consommation de matériaux
	-	Consommation d'énergie
	-	Espace au sol
	↓	Îlot de chaleur
	↓	Émissions de GES
	↓	Habitat naturel et biodiversité
Effets	-	

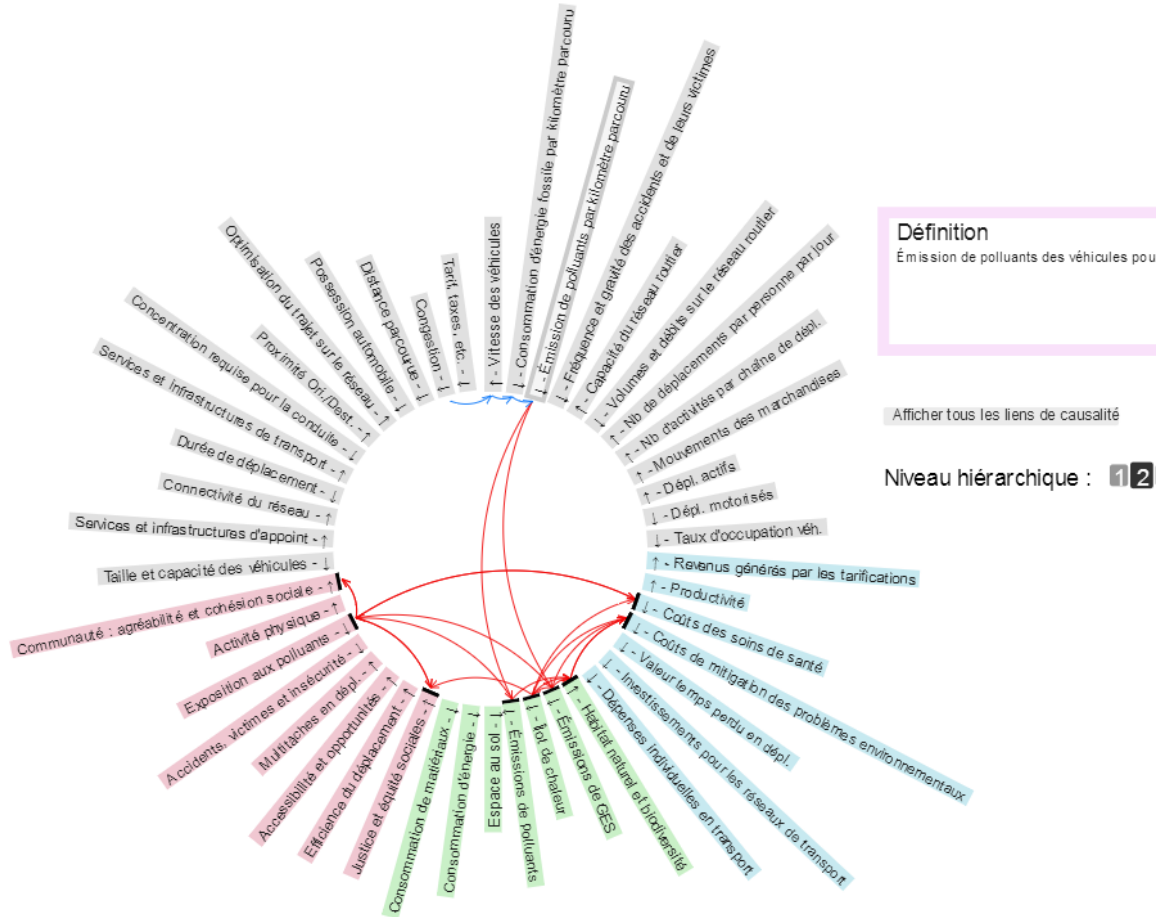


Figure 10. Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 2 : Diminution du taux d'émission de polluants par les véhicules, par kilomètre parcouru

Autres niveaux hiérarchiques

Les niveaux hiérarchiques peuvent être sélectionnés jusqu'à « 4 », choix maximal subjectif et sujet à changement. Le schéma de niveau hiérarchique 4 est illustré à la Figure 11, et permet de visualiser l'éventail des impacts [flèches rouges] qu'aurait une intervention sur les taux d'émissions de polluants atmosphériques :

Dimension sociale :

- Communauté : agréabilité et cohésion sociale
- Exposition aux polluants
- Justice et équité sociales

Dimension économique :

- Émissions de polluants
- Émissions de GES
- Îlot de chaleur
- Habitat naturel et biodiversité

Dimension économique :

- Investissements pour les réseaux de transport
- Coûts de mitigation des problèmes environnementaux
- Coûts en soins de santé
- Productivité

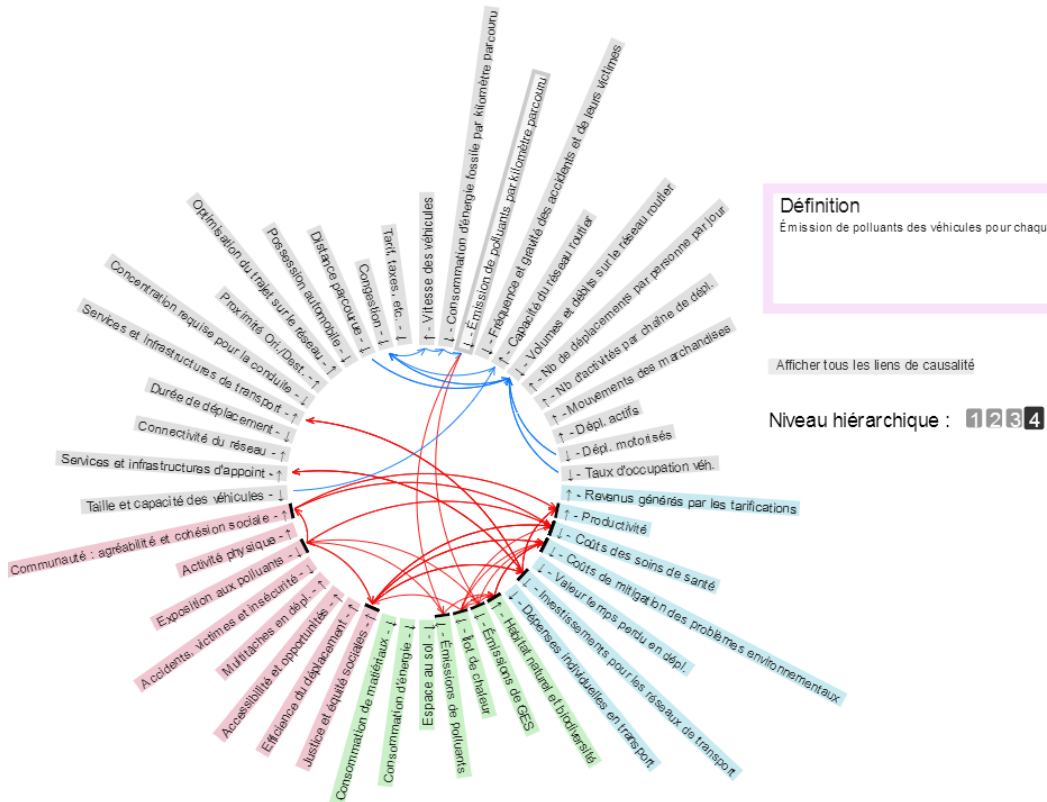


Figure 11. Chaîne d'impacts - Niveau hiérarchique 4 : Diminution du taux d'émission de polluants par les véhicules, par kilomètre parcouru

Perspectives et possibilités de développement

Le schéma interactif présenté est en développement continu. D'abord, le contenu de l'outil est sujet à améliorations qui viendront suite à des discussions avec les différents planificateurs en transport. Le contenu de l'outil comprend le choix des impacts sur les trois dimensions du développement durable [rouge, vert, bleu] ainsi que le choix des paramètres de mobilité [gris] entrant dans le cercle et la façon de les regrouper s'il y a lieu. Également, le sens désiré d'évolution des différents impacts et paramètres du cercle pourrait être fixé par les planificateurs. En résumé, en discutant avec les planificateurs en transport, le contenu suivant pourrait être modifié :

- La sélection des impacts sur l'environnement, la société et l'économie et, s'il y a lieu, leur regroupement en une seule entité afin d'alléger le cercle;
- Le choix des sens souhaités d'évolution des impacts sur l'environnement, la société et l'économie;



- La sélection des paramètres de mobilité et, s'il y a lieu, leur regroupement en une seule entité afin d'alléger le cercle. Les possibilités sont multiples :
 - Catégoriser les paramètres selon qu'ils correspondent à un changement d'offre ou de demande (comportements de mobilité);
 - Varier les paramètres choisis selon le mode de transport à l'étude. Par exemple, une société de transport en commun a des leviers d'actions qui ne s'appliquent pas au transport routier : fréquence de service, capacité des véhicules, installations pour attente aux arrêts, etc.;
 - Évaluer la possibilité d'inclure des indicateurs de synthèse qui ne correspondent pas à des modifications physiques sur un réseau de transport. Par exemple, la part modale est un indicateur couramment utilisé en transport pour évaluer la part des déplacements réalisés en un mode de transport. Toutefois, elle indique un changement de comportement sans spécifier de quantité physique, et n'a pas directement d'impact. Une modification de la répartition modale implique plutôt une modification du nombre de déplacements en chaque mode, qui eux ont des impacts sur la société, l'environnement et l'économie.

Ensuite, l'outil sous forme de schéma interactif pourrait subir plusieurs améliorations qui soulèvent certains défis. Les améliorations potentielles sont :

- L'ajout du sens d'évolution d'un impact ou d'un paramètre du cercle, sous la forme de symboles « plus » et « moins ». Ainsi, pour une intervention choisie, les symboles apparaissent pour indiquer le sens anticipé d'évolution des impacts et des paramètres touchés par cette intervention. Ces ajouts permettront de :
 - Indiquer si l'intervention choisie agit dans le sens désiré (défini au préalable par l'utilisateur, voir paragraphe précédent);
 - Mettre en évidence le cumul d'effets d'une intervention (lorsque la complexité d'une chaîne d'impacts fait en sorte qu'un même effet est touché plusieurs fois);
 - Mettre en évidence d'éventuels effets contradictoires d'un même impact (lorsque la complexité d'une chaîne d'impacts fait en sorte qu'un même effet est touché plusieurs fois dans des sens opposés).
- L'ajout d'un ordre de grandeur associé à l'évolution d'un impact ou d'un paramètre. Cela permet d'interpréter l'importance que l'on doit accorder aux effets contradictoires ou cumulés. Dans le cas d'effets contradictoires pour un même impact ou paramètre (l'intervention a à la fois des impacts positifs et négatifs), l'ordre de grandeur permet d'identifier lequel l'emporte entre l'effet désiré et celui non désiré. En intégrant un ordre de grandeur aux impacts, il devient également possible de comparer des interventions entre elles et d'identifier quelles interventions ont un plus grand effet sur un impact.
- L'ajout d'indicateurs de mobilité durable à estimer pour couvrir l'ensemble des impacts de la mobilité sur le développement durable. Ces indicateurs proposés ne



sont pas intégrés directement au cercle, mais figurent à côté. Chaque indicateur sera lié visuellement aux impacts qu'il permet de quantifier (en tout ou en partie) et aux paramètres qui influencent sa mesure.

- L'amélioration de l'inclusion des impacts causés par un transfert modal.

À terme, cet outil devra être flexible selon les besoins de l'utilisateur. Ainsi, il devra permettre la construction d'un cercle servant les besoins de l'utilisateur. La sélection des paramètres et des impacts inclus dans le cercle (et leurs regroupements s'il y a lieu) permet d'utiliser le schéma interactif pour :

- Illustrer un plan de mobilité et évaluer l'étendue de ses impacts sur les trois dimensions du développement durable;
- Illustrer le « rayonnement durable » d'un organisme de transport, peu importe son champs d'action (échelle, budget et mode de transport);
- Justifier une intervention ou en comparer plusieurs, peu importe leur échelle d'impacts;
- Représenter l'évolution de la société et de ses préoccupations (modes émergents, problématiques environnementales et sociales).



4.2 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
- Financement : Chaire Mobilité

****** LE TEXTE QUI SUIT EST UNE TRADUCTION D'UN EXTRAIT DU DOCUMENT PRÉLIMINAIRE DE THÈSE DE PEGAH NOURI – des éléments pourront être différents dans la thèse finale ******

4.2.1 Introduction

En Amérique du Nord, les activités routières sont la principale source d'émissions de GES et sont responsables d'environ 30 % de ceux-ci; environ la moitié de ces GES sont produits par les véhicules privés (Barla, Miranda-Moreno, Savard-Duquet, Thériault, & Lee-Gosselin, 2010; Murshed, 2010). Les émissions des véhicules sont divisées en trois catégories: émissions du tuyau d'échappement, émissions d'évaporation et émissions de durée de vie. (Murshed, 2010). Les émissions du tuyau d'échappement réfèrent aux gaz émis lorsque le moteur est en opération.

Différentes approches permettant de réduire ces émissions polluantes ont été proposées telles que l'utilisation de nouvelles technologies permettant de réduire la consommation d'essence, l'application de nouvelles législations en ce qui a trait aux nouveaux véhicules (gaz liquéfié ou biocarburant dans les véhicules lourds), l'application de nouvelles stratégies en lien avec le système de transport routier tel que développer l'éco-conduite (Achour, Carton, & Olabi, 2011). Et bien entendu, réduire la dépendance à l'automobile pour les déplacements (Barla et al., 2010).

Cependant, avant d'imposer une politique, les décideurs doivent être en mesure d'estimer les impacts de celle-ci sur les émissions de GES, surtout pour justifier les investissements, souvent importants, qui sont requis. C'est la raison pour laquelle il y a autant d'énergie déployée pour prévoir les impacts des politiques sur la demande de transport ainsi que sur les émissions de GES.

L'objectif principal de cette recherche est d'explorer les méthodes les plus appropriées pour estimer les émissions de GES en lien avec le secteur des transports. Cette étude vise à améliorer les méthodes d'estimation et à identifier des solutions permettant de réduire les émissions. Pour atteindre cet objectif principal, des objectifs spécifiques ont été identifiés:

- 1) Définir les facteurs qui affectent les émissions et leur ampleur
- 2) Identifier les variables qui impliquent des analyses supplémentaires
- 3) Proposer et développer les méthodes les plus adaptées pour estimer les impacts de ces différentes variables
- 4) Recommander différentes stratégies pour réduire les GES liés au transport

Dans ce document, seront principalement discutés les premier et second objectifs, le second étant discuté plus brièvement.

4.2.2 Facteurs d'émission

La quantité et la composition des émissions du tuyau d'échappement dépendent de différents facteurs. Ces facteurs sont généralement identifiés à travers cinq catégories (Figure 12):

- 1) Le niveau de contrôle de émissions de véhicules tel que le type de véhicule et le type de carburant (Corvalan & Urrutia, 2000; Murshed, 2010);
- 2) Les paramètres d'utilisation tel que le kilométrage cumulatif, l'inspection et le niveau d'entretien (Murshed, 2010);
- 3) Les modes opératoires tels que la vitesse, les accélération/décélération, les parts respectives de départs à froid / chaud, la climatisation et le gradient de la route (Murshed, 2010);
- 4) Les paramètres ambiants tels que la température et le niveau d'humidité (Murshed, 2010; Wang, Fu, Lin, Zhou, & Chen, 2009);
- 5) Les conditions du système de transport telles que le type de pavage, le type et l'état de la chaussée (Bachman, Sarasua, Hallmark, & Guedinsler, 2000).

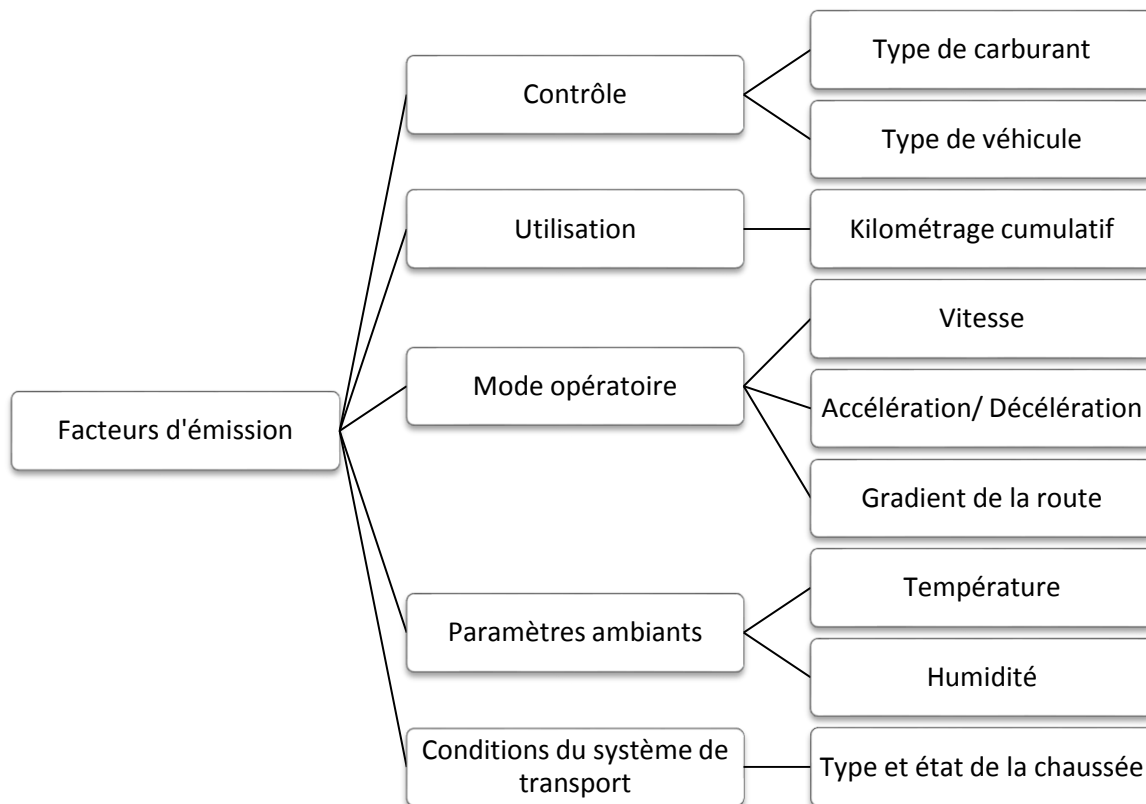


Figure 12: Facteurs d'émission

Chacune de ces variables sera examinée séparément dans les prochaines sections.

Type de carburant

Le premier facteur discuté, qui est d'ailleurs un des plus déterminants dans les émissions de gaz à effet de serre, est le type de carburant. Le type de carburant peut changer le taux d'émission de gaz à effet de serre nonobstant le type de véhicule et les attributs de la route en raison de sa composition chimique. Ce qui entre dans le véhicule sortira (GmbH, 2006), par conséquent, le contenu du carburant influence directement la composition des émissions qui sortiront du tuyau d'échappement.

L'essence est le carburant le plus populaire en Amérique du Nord. Après l'essence, les moteurs au diesel sont les plus populaires. Les moteurs au diesel ont une thermodynamique plus efficiente que les véhicules à essence. Normalement, la puissance des moteurs au diesel est 1,5 à 3 fois plus importante que celle des moteurs à essence (Atkins, 2009). Spécialement en Amérique du Nord, un véhicule moyen de classe C produit environ 43 % plus de CO₂ comparativement à un moteur au diesel qui a les mêmes propriétés (Sullivan et al., 2004).

Tableau 2. Taux moyens d'émission de CO₂ pour des modèles de véhicule 2001: essence vs diesel (Sullivan et al. 2004)

		Classe C (moyenne) (3125 lbs. 1420 kg)		
		Consommation d'essence [mpg]	Consommation d'essence [L/100km]	Émissions CO ₂ [g CO ₂ /km]
Amérique du Nord	Essence	25.2	9.3	220
	Diesel	40.5	5.8	154
Allemagne	Essence	26.1	9.0	213
	Diesel	39.9	5.9	156

Nous calculons typiquement les émissions de CO₂ de l'essence et du diesel à l'aide des Equation 1 et Equation 2 (Sullivan et al., 2004).

$$[CO_2]_d = 6231/FE_d = 26.5 \times FC_d \text{ (g/km)} \quad \text{Equation 1}$$

$$[CO_2]_g = 5550/FE_g = 23.6 \times FC_g \text{ (g/km)} \quad \text{Equation 2}$$

Les indices d et g réfèrent respectivement au diesel et à l'essence. FE est la consommation d'essence en mille par gallon alors que la FC est la consommation d'essence en litre par 100 km. Dans le Tableau 3, les émissions détaillées de GES de certaines énergies fossiles sont présentées.

Tableau 3. Différentes émissions pour carburants fossiles (Murshed, 2010)

Type de carburant	GES (grammes/litre)*			Total CO ₂ équivalent
	CO ₂	CH ₄	NO ₂	
Essence	2,360	0.2273	0.3358	2,469
Diesel	2,650	0.0605	0.20	2,713
Éthanol 10	2,124	0.2273	0.3358	2,233
Éthanol 85	531	0.2273	0.358	640
Essence type pour avion	2,330	2.19	0.23	2,447
Essence pour jet	2,550	0.08	0.25	2,629

*Équivalence pour dioxyde de carbone CO₂=1, CH₄=21, and NO₂=310.

Il existe différentes énergies alternatives mais celles-ci ne sont pas aussi courantes que l'essence et le diesel. Les émissions de ces énergies sont nettement inférieures (H. C. Frey, Zhai, & Roupail, 2009). Cependant, il y a des débats autour des émissions relatives au cycle de vie, notamment pour les véhicules électriques. (Hawkins, Singh, Majeau-Bettez, & Strømman, 2012); Ceci ne sera pas discuté. Certaines de ces alternatives sont présentées au Tableau 4 ainsi que les émissions de CO₂ durant leur cycle de vie. Les émissions sont comparées à celles de l'essence.

Tableau 4. Technologies et énergies alternatives et émissions de GES liées à leur cycle de vie et comparaison avec l'essence

Énergie / technologie alternative	Réduction d'émissions de GES sur cycle de vie
Gasoline+85% éthanol (E85)	15-20% ("Alternative Fuels: E85 and Flex Fuel Vehicles," 2006)
Compressed Natural Gas (CNG)	30% (Lave, MacLean, Hendrickson, & Lankey, 2000)
Hybrid gasoline-electric (HEV)	30-50% (Romm, 2006)
Plug-in Hybrid (PHEV)	38-51% (C. Samaras & Meisterling, 2008)

Chaque carburant / énergie a ses avantages et inconvénients mais ils ne seront pas discutés ici. Dans cette étude, le focus est mis sur l'essence qui est le carburant le plus fréquent en Amérique du Nord.

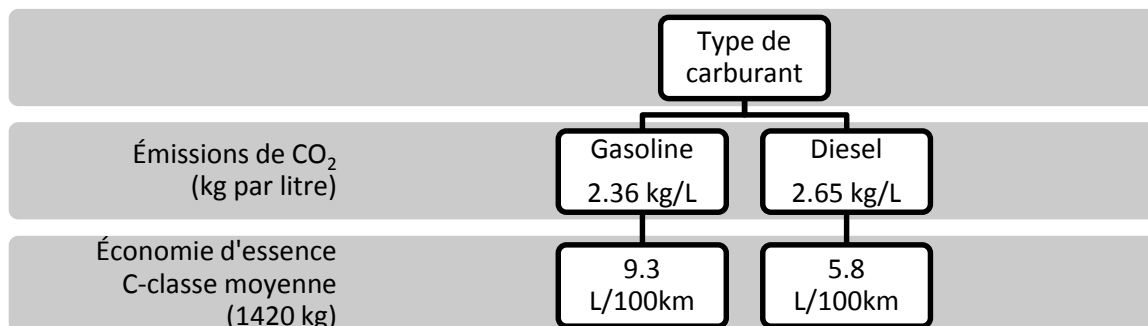


Figure 13: Sommaire des différences liées au type de carburant



Type de véhicule

Dans la dernière section, nous avons comparé les émissions de CO₂ liées au carburant pour un véhicule moyen de classe C. Les propriétés du véhicule peuvent avoir un effet significatif sur la consommation d'essence et par conséquent sur les émissions de CO₂. Ces propriétés réfèrent tant aux attributs physiques du véhicule tels que le poids, la forme et la taille qu'à la technologie de combustion et la puissance du moteur. Même un changement mineur dans ces attributs peut influencer les émissions de façon considérable. Pour mettre en évidence comment le type de véhicule peut affecter les émissions, une comparaison entre deux types de véhicule très différents sera présentée (véhicules de 2012).

Le véhicule le plus efficient en consommation d'essence en 2012 est la Toyota Prius avec 3.5 L/100km en ville. À l'autre bout du spectre on retrouve le Bugatti Veyron qui consomme 26.1 L/100km, soit environ 7.5 fois plus que la Prius ("Fuel Consumption Ratings," 2012). Ceci illustre l'importance de la composition des flottes de véhicules pour le calcul de la consommation globale de carburant.

Cependant, pour les estimations à plus grande échelle (échelle régionale ou nationale), les véhicules sont généralement classés selon de grandes catégories telles que la classe et l'année de véhicules. Le Tableau 5 présente les taux de consommation moyens selon la classe de véhicule et l'année de construction (2003-2012). Ces taux ont été calculés à l'aide des données extraites du site de Ressources naturelles Canada : outil sur les cotes de consommation de carburant (<http://oee.nrcan.gc.ca/fcr-rcf/public/index-f.cfm?attr=0>). Toutes les données ont été extraites puis la consommation moyenne en ville et sur autoroute a été calculée pour chaque classe de véhicule. Le taux moyen de consommation est pondéré selon des parts moyennes de conduite en ville ou sur autoroute à l'aide de l'Equation 3.

$$FC_{Moy} = 0.55 \times FC_{Ville} + 0.45 \times FC_{Autoroute} \quad \text{Equation 3}$$

Ce même tableau indique combien de types différents de véhicules ont été impliqués dans les calculs des moyennes. Il est important de mentionner que certaines classes de véhicules comptent plusieurs véhicules sport qui ont des taux de consommation plus élevés bien qu'ils soient petits. Ceci fait notamment en sorte que le taux moyen de consommation des véhicules compactes est inférieur au taux moyen de consommation des véhicules sous-compactes, cette dernière classe contenant des véhicules comme : Aston Martin DBS, Maserati Granturismo ou BMW M3 Cabriolet.

Tableau 5. Taux moyen de consommation pour les véhicules à essence au Canada, par classe, de 2003-2012 (Litres / 100 km), Source: Ressources naturelles Canada, Cotes de consommation de carburant

Classe de véhicule	Classe	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Deux places ²	T	12.16	11.70	11.74	11.63	11.83	11.81	11.94	12.30	11.51	11.02
Sous-compacte	S	10.64	10.09	10.43	9.93	10.23	10.09	9.77	9.68	9.59	9.53
Compacte	C	9.15	9.28	9.36	9.48	9.64	9.68	9.59	9.24	8.70	8.72
Moyenne	M	10.05	10.31	10.38	10.39	10.20	10.30	10.24	9.90	9.27	8.83
Grande	L	11.02	11.75	12.04	11.82	11.69	11.73	11.78	11.66	11.47	11.13
Minifourgonnette	V	13.53	13.16	11.94	11.44	10.95	10.69	10.42	10.25	10.00	9.63
Familiale	W	9.83	9.75	9.74	9.59	9.49	9.44	9.02	8.73	8.65	8.38
Usage spécifique	SP	12.67	12.95	12.43	12.17	11.64	11.60	11.36	10.84	10.63	10.55
Camionnette	PU	13.52	13.58	13.18	12.90	12.82	12.62	12.20	12.05	12.03	11.97
Fourgonnette ³	F			14.49	14.23	14.35	14.17	14.00	14.14	15.22	15.12
Moyenne		11.36	11.33	11.22	11.15	11.09	10.99	10.83	10.49	10.33	10.11
Nombre de types de véhicules utilisés dans les calculs		780	841	971	921	982	1019	1048	939	966	1229

Tel que présenté au Tableau 5, en moyenne, la consommation d'essence a diminué pendant les derniers 10 ans. Cependant, ces chiffres ne tiennent pas compte du facteur d'utilisation: généralement, les plus vieux véhicules sont moins utilisés (Van Wee, Moll, & Dirks, 2000). Les données sur les véhicules-kilomètres parcourus par chaque type de véhicule ne sont pas disponibles. Par conséquent, la méthode usuelle pour estimer les véh-km est par le biais des modèles de transport. Ainsi, la qualité des estimations des émissions de GES dépend grandement de la qualité des estimations de véh-km parcourus donc des modèles de transport.

Il est donc possible de supposer un kilométrage moyen par type de véhicule ainsi qu'une consommation moyenne. Cependant, puisqu'il n'est pas possible d'avoir des informations détaillées pour chaque véhicule, les véhicules sont typiquement classés selon de grandes catégories dans le modèle d'émission; ces catégories dépendent de la classe de véhicule et de l'année. Dans la flotte montréalaise de 2008, le taux le plus élevé de consommation d'essence était lié aux VUS 1993-94 et le moins élevé aux sous-compactes 2008-2009, leurs taux étant respectivement de 13.1 et 7.1.

² Dans cette catégorie, le spectre de taille du moteur est très large, variant entre 1.0 litres pour les petites voitures jusqu'aux 8.0 litres des voitures sport.

³ Cargo van par exemple Dodge Ram

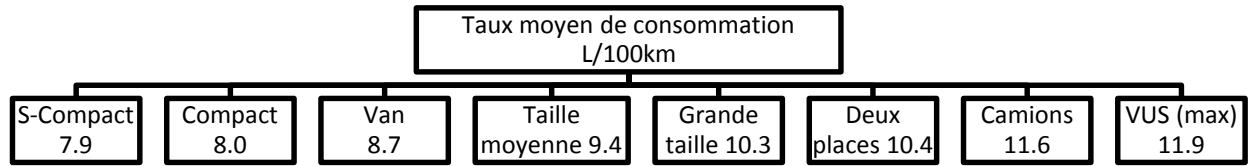


Figure 14: Taux de consommation moyen des véhicules à essence, par classe

Il est important de noter que, dans cette étude, nous ne discutons que des véhicules privés (pour passagers) et non des véhicules commerciaux puisque leurs propriétés et les méthodes d'estimation sont différentes.

Kilométrage cumulatif

Malheureusement, seules quelques études portent sur l'influence du kilométrage cumulatif sur les émissions des véhicules et aucune n'aborde la question des émissions de CO₂. On mentionne brièvement que le CO₂ est insensible au kilométrage cumulé (Ntziachristos & Samaras, 2000) mais sans plus. Il semble que le kilométrage cumulatif ait un effet sur les émissions de polluants mais ces résultats ne sont pas utilisables dans notre analyse puisque celle-ci porte spécifiquement sur les émissions de CO₂. L'impact du kilométrage cumulatif est généralement discuté en parallèle avec les programmes d'inspection et d'entretien. On suppose que, toutes choses étant égales par ailleurs, plus courte est la vie du véhicule, plus faible est le taux de consommation et d'émission. Ceci veut dire que les plus vieux véhicules émettent en moyenne plus de polluants en raison de la dégradation du système de contrôle des émissions du véhicule (Lawson, 1993; Ntziachristos & Samaras, 2000; Z. Samaras et al., 1998; Zachariadis, Ntziachristos, & Samaras, 2001). En même temps, les vieux véhicules ont tendance à être moins utilisés (Van Wee et al., 2000).

Aussi, le kilométrage cumulatif peut influencer la relation entre la vitesse et les émissions. Dans une étude des facteurs de détérioration Corvalan et Vargas (2003) proposent l'Equation 4

$$E_i(M, v) = A_i(v) \times M + E_{zi} \times (v) \quad \text{Equation 4}$$

Où $E_i(M, v)$ sont les émissions de polluants i , liées à la vitesse moyenne v et au kilométrage cumulatif, M , en (g/km); $A_i(v)$ est un coefficient expérimental, relié à la vitesse moyenne v , qui représente le taux d'émission du polluant i par kilomètre cumulé; M est le kilométrage cumulatif, en (km) et $E_{zi}(v)$ est un coefficient expérimental qui représentent les émissions de polluants i , reliées à la vitesse moyenne v , qui correspond à un véhicule neuf ($M=0$), in (g/km) (Corvalan & Vargas, 2003). À partir d'une analyse expérimentale, les auteurs proposent un coefficient pour différents polluants mais aucun coefficient n'est proposé pour les émissions de CO₂.

L'étude du kilométrage cumulatif et des émissions du cycle de vie sont aussi discutées dans les programmes d'inspection et d'entretien (Washburn, Seet, & Mannering, 2001). Le gouvernement du Québec a annoncé le programme I/M (inspection et maintenance) pour les véhicules lourds afin de permettre de réduire les émissions de 10 %. Aussi, récemment, le projet de loi 48 a rendu l'inspection des véhicules obligatoire (Loi concernant l'inspection des véhicules automobiles, 2011). Plus de 60 % des véhicules ont



une moyenne de 5 % d'amélioration d'économie d'essence après une mise au point. Ceci est particulièrement évident sur les vieux véhicules qui n'ont pas de système de gestion de moteur arrêté (Leung & Williams, 2000).

Vitesse, accélération et décélération

Le comportement de conduite, à savoir le profil de vitesse, accélération et décélération, est un des déterminants les plus importants de la consommation d'essence et des émissions de CO₂. Une grande part des études sur les émissions des véhicules porte sur la relation entre la vitesse, l'accélération/décélération et les émissions ou la consommation d'essence. Typiquement, il y a deux types de modèles disponibles pour calculer les émissions: vitesse moyenne sur un lien et puissance instantanée qui s'appuie sur la vitesse, l'accélération, le gradient de la route et le poids du véhicule.

Modèle basé sur la vitesse moyenne par lien

Le modèle le plus simple et agrégé d'émission est basé sur la vitesse moyenne par lien. Dans une étude sur l'effet du niveau de service d'une route sur le niveau d'émission, (Cobian, Henderson, Mitra, Nuworsoo, & Suvillan, 2009) ont utilisé quatre différents modèles d'émission. Parmi ceux-ci, Synchro propose une équation simple pour estimer la relation entre la consommation d'essence et les émissions. Les variables du modèle sont la vitesse, les véh-km, le retard et le nombre d'arrêts (Equation 5).

$$FC = X \times (0.284977 - 0.003738 \times v + 0.00002201 \times v^2) - D \times 2.774 + S \times 0.0000089756 \times v^2 \quad \text{Equation 5}$$

FC Consommation d'essence en litres

X Véh-kilomètres totaux

v Vitesse en km/h

D Retard total en heures (retard total causé par les dispositifs de contrôle de la circulation)

S Nombre d'arrêts par heure (pour l'ensemble des véhicules)

Modèles basés sur la puissance instantanée

Contrairement au modèle de vitesse moyenne par lien, les modèles de vitesse instantanée dépendent des comportements des conducteurs. Le calcul des émissions basé par la puissance a d'abord été proposé par Post, Kent, Tomlin, and Carruthers (1984) et a ensuite été révisé par Jimenez-Palacios (1999) et nommé Puissance Spécifique (SP) ou Puissance Spécifique de Véhicule (VSP). Cette méthode a été grandement discutée dans la littérature depuis (Koupal, Michaels, Cumberworth, Bailey, & Brzezinski, 2002; Vallamsundar & Lin, 2011; Xu, Yu, & Song, 2010; Younglove, Scora, & Barth, 2005). La méthode VSP est plus commode que la méthode vitesse- accélération puisqu'elle s'appuie sur une seule mesure et réduit les problèmes liés à l'analyse combinée de la vitesse et de l'accélération (Jimenez-Palacios, 1999). C'est défini par VSP (Vehicle Specific Power) ou seulement SP et cela réfère au fait que la puissance est générée par le moteur qui surmonte le gradient de la chaussée, le frottement et la résistance aérodynamique et l'inertie de l'accélération (Younglove et al., 2005).



Les facteurs qui définissent la puissance spécifique sont la résistance au vent, la friction entre les pneus et la chaussée, l'accélération du véhicule, le gradient de la chaussée, la friction du moteur et l'utilisation d'accessoires tels que la climatisation. Par ailleurs, ces sources de charge du moteur sont déterminées par différents attributs du véhicule tels que la cylindrée du moteur, le poids du véhicule et l'efficacité de la transmission (Kean, Harley, & Kendall, 2003).

Dans cette section, les principaux modèles sont décrits. Certains de ceux-ci sont la base d'autres modèles plus complexes. Chaque méthodologie sera présentée séparément. Les méthodologies sont basées sur l'énergie et les modèles VSP. Cependant, le modèle VSP est aussi basé sur un modèle d'énergie mais certains paramètres y ont été simplifiés. Dans chaque méthodologie, les modèles disponibles sont discutés selon l'année de développement.

Modèles basés sur l'énergie

L'étude initiale de puissance et consommation d'essence a été réalisée par Post et al. (1984). Dans leur étude, ils calculent la demande totale en puissance instantanée à partir du poids du véhicule, de la traînée, la vitesse, l'accélération et le gradient de la chaussée. Leur modèle de consommation instantané est:

$$FC(ml/min) = (\alpha + \beta \times Z_{tot}(KW)) \text{ for } Z_{tot} \geq 0 \text{ kW} \quad \text{Equation 6}$$

$$= \alpha(ml/min) \text{ for } Z_{tot} < 0 \text{ kW}$$

FC Consommation, ml/min

α Paramètre du véhicule; ml/min pour l'essence, g/min pour HC, NO_x

β Paramètre du véhicule; ml/min kW pour l'essence, g/min kW pour HC, NO_x

Z_{tot} Puissance totale instantanée

Pour leur véhicule test, $\alpha = 39.2 \text{ ml/min}$ et $\beta = 9.2 \text{ ml/min kW}$ (données expérimentales). α et β pour chaque véhicule peuvent varier avec l'altération de la condition et de son état. Cependant, α et β n'ont montré aucune corrélation avec l'âge ou le kilométrage cumulé (Post et al., 1984). Ces auteurs ont aussi proposé que α pouvait être décrit par une fonction linéaire de la puissance du moteur pour certains types de véhicules.

$$FC(ml/min) = (\gamma \times EC + \beta Z_{tot}) \quad \text{for } Z_{tot} \geq 0 \text{ kW} \quad \text{Equation 7}$$

Sur route, Z_{tot} (la demande totale de puissance instantanée) est la somme instantanée de la traînée, de l'inertie et de la puissance requise par le gradient de la chaussée. La demande totale de puissance instantanée est donnée par:

$$Z_{tot} = (0.04v + 0.5 \times 10^{-3}v^2 + 10.8 \times 10^{-6}v^3) + \frac{M}{1000} \frac{v}{3.6} \left(\frac{a}{3.6} + 9.81 \sin \theta \right) \text{ kW} \quad \text{Equation 8}$$

v Vitesse (km/h)

M Poids du véhicule (kg)



a Accélération (km/h.s.)

θ Gradient de la chaussée (degré)

Dans leur étude, ils proposent une équation pour calculer la puissance totale (Equation 8). Les détails de cette puissance totale sont fournies séparément dans une autre étude de Leung and Williams (2000). Ces auteurs ont expliqué qu'un véhicule doit produire de la puissance pour contrer cinq types de résistance: la résistance de la voiture-train (Z_d), la résistance de roulement (Z_r), la résistance aérodynamique (Z_a), la résistance de l'inertie et gravitationnelle (Z_e) et la résistance liée aux accessoires (Z_m).

$$Z_t = Z_d + Z_r + Z_a + Z_e + Z_m \quad \text{Equation 9}$$

$$Z_d = 2.36 \times 10^{-7} v^2 M \quad \text{Equation 10}$$

$$Z_r = (3.72 \times 10^{-5} v + 3.09 \times 10^{-8} v^2) M \quad \text{Equation 11}$$

$$Z_a = 1.29 \times 10^{-5} C_d A v^3 \quad \text{Equation 12}$$

$$Z_e = 2.78 \times 10^{-4} (a + g \sin \theta) M v \quad \text{Equation 13}$$

Où :

C_d Est le coefficient de traînée aérodynamique

A Est la surface frontale du véhicule (m^2)

$$FC = \alpha + \beta Z_t = \gamma EC + \beta Z_t \quad \text{Equation 14}$$

Où :

α Est le taux de consommation à l'arrêt

β Est l'efficacité thermodynamique de la génération de puissance (proportionnelle à la capacité du moteur (litres))

γ Est le taux de consommation d'essence à l'arrêt (relation linéaire de coefficient 8.5)

EC Capacité du moteur

Dans une autre étude, Biggs and Akcelik (1986) ont aussi modélisé la consommation d'essence à partir de facteurs opérationnels (vitesse, accélération et gradient de la route) et des propriétés du véhicule (poids, résistance aérodynamique, consommation à l'arrêt). Bien qu'ancienne, cette méthode est à la base de celles qui sont aujourd'hui utilisées pour le calcul des émissions.

$$dF = \alpha dt + \beta_1 R_T dx + [\beta_2 a_e R_{1G} dx]_{a_e > 0} \text{ pour } R_T > 0 \quad = \alpha dt \text{ pour } R_T \leq 0 \quad \text{Equation 15}$$

dF incrément d'essence consommée (mL) pendant le trajet avec la distance dx (mètres) et le temps dt (secondes)

α Taux de consommation à l'arrêt (mL/sec.), qui agit comme constante lors de tout mode de conduite

β_1 Un paramètre d'efficacité qui associe l'essence consommée à l'énergie fournie par le moteur (mL/kJ)

- β_2 Un paramètre d'efficacité associé à l'essence consommée pendant les accélérations positives (mL/(kJ.m/sec.²))
- a Accélération instantanée (dv/dt) em/sec.², qui a une valeur négative lors des ralentissements
- G Gradient de la chaussée qui a une valeur négative pour les descentes
- a_e Accélération effective en m/sec.² incluant à la fois l'accélération et à la décélération due à la gravité: $a_e = a + 0.0981 G$
- R_T Force totale de traction requise pour conduire le véhicule, qui est la somme des forces de traînée (R_D), d'inertie (R_I) et de gradient (R_G) en kN (i.e. $R_T = R_D + R_I + R_G$)
- R_{1G} Somme des forces d'inertie et de gradient (i.e. $R_{1G} = R_I + R_G$)

Les forces de résistance peuvent être exprimées comme suit:

$$R_D = b_1 + b_2 v^2 \quad \text{Equation 16}$$

$$R_I = M a / 1000 \quad \text{Equation 17}$$

$$R_G = 9.81 M (G/100) / 1000 \quad \text{Equation 18}$$

- v Vitesse (dx/dt) en m/sec.
- M Poids du véhicule en kg, incluant les occupants et n'importe quelle autre charge
- b_1 * Paramètre de force de traînée en kN, principalement liée à la résistance au roulement
- b_2 * Paramètre de force de traînée en kN (m/sec.²), principalement liée à la résistance aérodynamique
- * b_1 et b_2 sont aussi associés aux composantes de traînée liées au moteur

Tableau 6. Paramètres des véhicules requis par les modèles de consommation d'essence basés sur l'énergie

Paramètre	Véhicule test : Cortina ⁴	Véhicule test : Commodore ⁵	Valeur par défaut
α	0.666	0.57	0.444
M	1,680	1,433	1,200
β_1	0.0717	0.076	0.090
β_2	0.0344	0.066	0.030
b_1	0.527	0.30	0.333
b_2	0.000948	0.000127	0.0008

⁴ Véhicule familial construit par Ford et populaire entre 1960 et 1980

⁵ Véhicule de type berline construit par Opel et aussi populaire entre 1960 et 1980

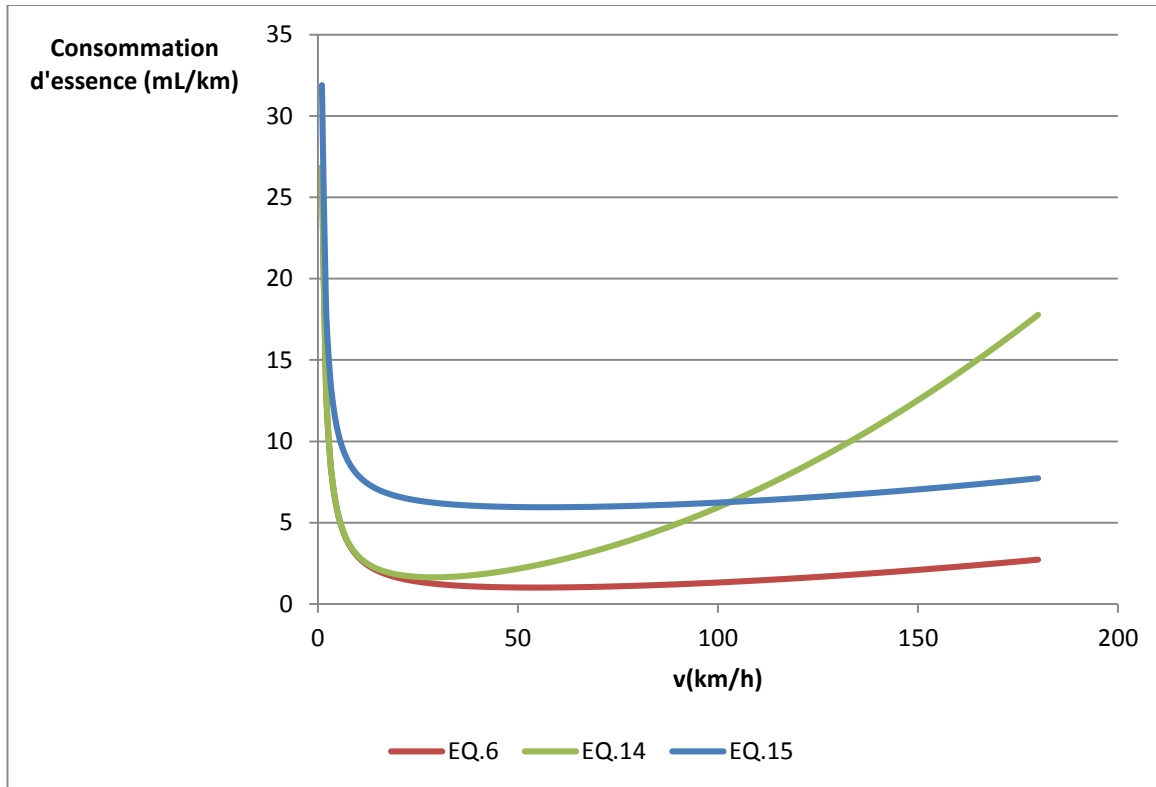


Figure 15: Comparaison entre différents modèles basés sur l'énergie

Modèles de puissance spécifique

Dans une étude, Kean et al. (2003) ont défini différents facteurs opératoires tels que coefficient de traînée, surface frontale, densité de l'air, vitesse, accélération, vent de face, gravité, résistance de roulement, et gradient de la chaussée.

$$SP = \left[\frac{C_D A_f \rho_a}{m} \frac{(v + v_w)^2}{2} + g C_R + a(1 + \epsilon_i) + g \sin \theta \right] v \text{ (W/kg)} \quad \text{Equation 19}$$

C_D Coefficient de traînée

A_f Surface frontale du véhicule

m Poids du véhicule

ρ_a Densité de l'air

v Vitesse moyenne du véhicule

v_w Vent de face

a Accélération moyenne par période de 5 minutes

g Accélération liée à la gravité

C_R Coefficient de résistance des pneus au roulement

ϵ_i Poids équivalent translationnel des composantes rotatives du groupe motopulseur

θ \tan^{-1} (gradient) est la pente de la chaussée



Les valeurs de $C_D A_f / m$ varient entre 0.0004 et 0.0007 pour la majorité des véhicules de type utilitaire léger au États-Unis (U.S. Environmental Protection Agency) et une valeur typique de 0.0005 a été recommandée (Jimenez-Palacios, 1999). Les valeurs de C_R varient entre 0.0085 et 0.016 avec une valeur recommandée de 0.0135 (Jimenez-Palacios, 1999). ϵ_i dépend de la vitesse et varie entre 0.075 et 0.25 avec une valeur recommandée de 0.1 pour le calcul de SP (Jimenez-Palacios, 1999).

Dans une autre étude, H. Frey, Roupail, and Zhai (2006) développent aussi une équation plus simple pour le VSP:

$$VSP = v[1.1a + 9.81(\sin(a \tan(\text{gradient}))) + 0.132 + 0.000302v^3] \quad \text{Equation 20}$$

VSP Puissance spécifique du véhicule (m^2/s^3)

v Vitesse du véhicule (m/s)

a Accélération (m/s^2)

gradient Gradient de la chaussée (%)

Les coefficients peuvent être adaptés pour différents véhicules; cependant, les coefficients disponibles conviennent pour un véhicule léger typique.

Tableau 7. Valeurs moyennes d'émissions pour les modes VSP pour un véhicule léger type (Salamati et al., 2013)

Mode VSP	Amplitude VSP	Polluants			
		NOx (g/s)	HC (g/s)	CO (g/s)	CO2 (g/s)
1	VSP < -2	0.0001	0.0002	0.0011	0.966
2	-2 ≤ VSP < 0	0.0001	0.0003	0.0015	1.343
3	0 ≤ VSP < 1	0.0000	0.0002	0.0007	0.921
4	1 ≤ VSP < 4	0.0002	0.0005	0.0023	2.351
5	4 ≤ VSP < 7	0.0002	0.0007	0.0040	3.160
6	7 ≤ VSP < 10	0.0003	0.0010	0.0057	3.940
7	10 ≤ VSP < 13	0.0003	0.0010	0.0057	4.542
8	13 ≤ VSP < 16	0.0004	0.0011	0.0057	5.103
9	16 ≤ VSP < 19	0.0005	0.0012	0.0074	6.658
10	19 ≤ VSP < 23	0.0006	0.0013	0.0066	6.081
11	23 ≤ VSP < 28	0.0008	0.0013	0.0097	6.344
12	28 ≤ VSP < 33	0.0009	0.0014	0.0143	7.012
13	33 ≤ VSP < 39	0.0011	0.0015	0.0234	7.674
14	39 ≤ VSP	0.0008	0.0016	0.0441	8.235

Température

L'effet de la température sur les émissions peut être discuté selon deux états de véhicule: moteur à chaud et démarrage à froid. La température peut aussi avoir un effet par le biais de l'utilisation de la climatisation, effet qui sera discuté dans une section séparée. Dans le cas du moteur à chaud, la température peut avoir différents effets sur différents polluants. Choi, Beardsley, Brzezinski, Koupal, and Warila (2011) démontrent l'impact de la

température ambiante sur les niveaux de THC, CO, NO_x et PM_{2.5}. Cependant, les niveaux de CO₂ ne sont pas discutés dans la littérature.

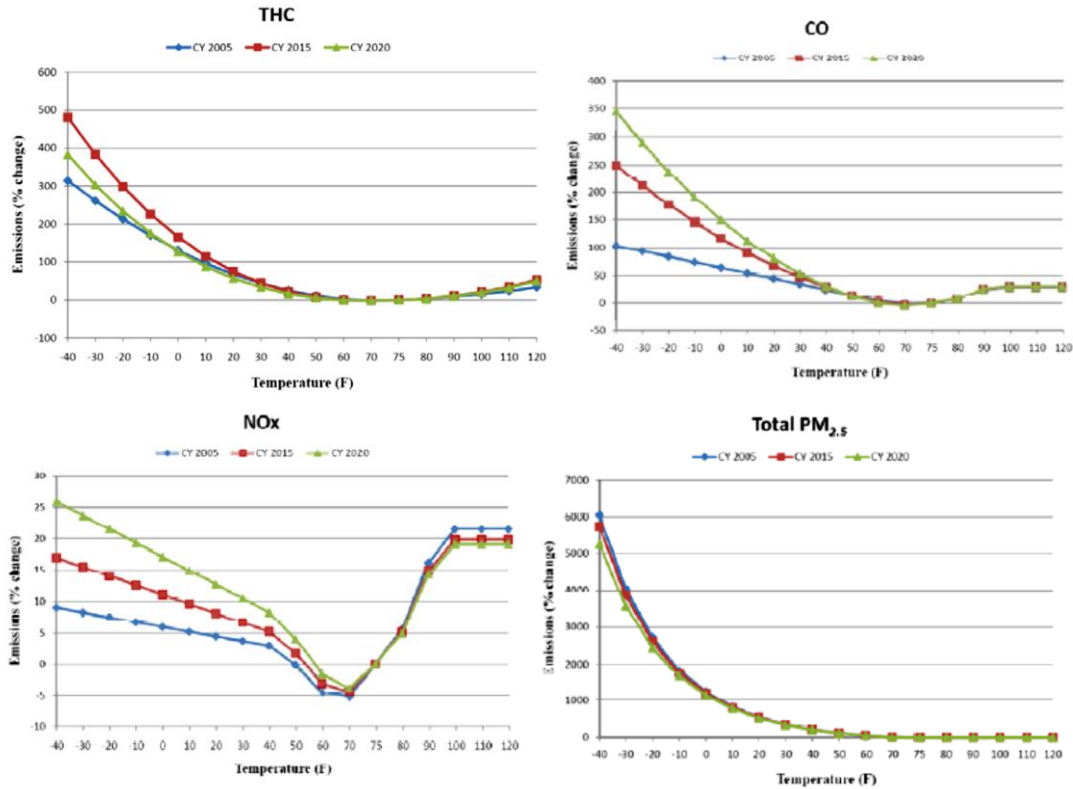


Figure 16: Relations entre la température et les émissions de polluants pour un véhicule à essence en 2005, 2015 et 2020 (Choi et al., 2011)

L'impact de la température sur la consommation d'essence pendant les démarrages à froid a été discuté abondamment dans la littérature (Andrews, Li, Wylie, & Zhu, 2005; Sentoff, Robinson, & Holmén, 2010; M. Weilenmann, Favez, & Alvarez, 2009). Les émissions lors de démarrages à froid sont relativement élevées pour le monoxyde de carbone et le carbone non brûlé (J. K. Laurikko, 1997). Aussi, la performance du système de contrôle des émissions se détériore en deçà des températures normales (J. Laurikko, 1998), puisque, lors de températures froides et de densité supérieure d'air, plus d'essence est requise et plus de polluants sont émis (Bielaczyc & Merkisz, 1997, 1998).

Une formule générale exprimant les émissions excédentaires⁶ liées au démarrage à froid est proposée par André and Joumard (2005, p. 35); celle-ci est basée sur la température ambiante, la vitesse moyenne, la distance de déplacement et la durée de stationnement.

$$EE(T, V, \delta, t) = \omega_{20^{\circ}\text{C}, 20\text{km}, h} \times f(T, V) \times \left\{ \frac{1 - e^{a \times \delta}}{1 - e^a} \right\} \times g(t) \quad \text{Equation 21}$$

- EE Émissions excédentaires pour un déplacement g
- V Vitesse moyenne (km/h)

⁶ Émissions supplémentaires émises lors d'un démarrage à froid comparativement aux émissions de référence du véhicule



T Température ambiante ($^{\circ}\text{C}$)

t Durée de stationnement (heures)

$$\delta = \frac{d}{d_c(T, V)} \quad \text{Ratio de distances}$$

d Distance parcourue (km)

$d_c(T, V)$ Distance à froid

$\omega_{20^{\circ}\text{C}, 20\text{km/h}}$ Émissions de référence (à 20°C et 20 km/h)

La fonction f est tel que f tend vers 0 lorsque la température augmente.

Tel que montré à la Figure 17 l'influence de la température est plus forte que celle de la vitesse, confirmant la grande importance de la température pour les estimations.

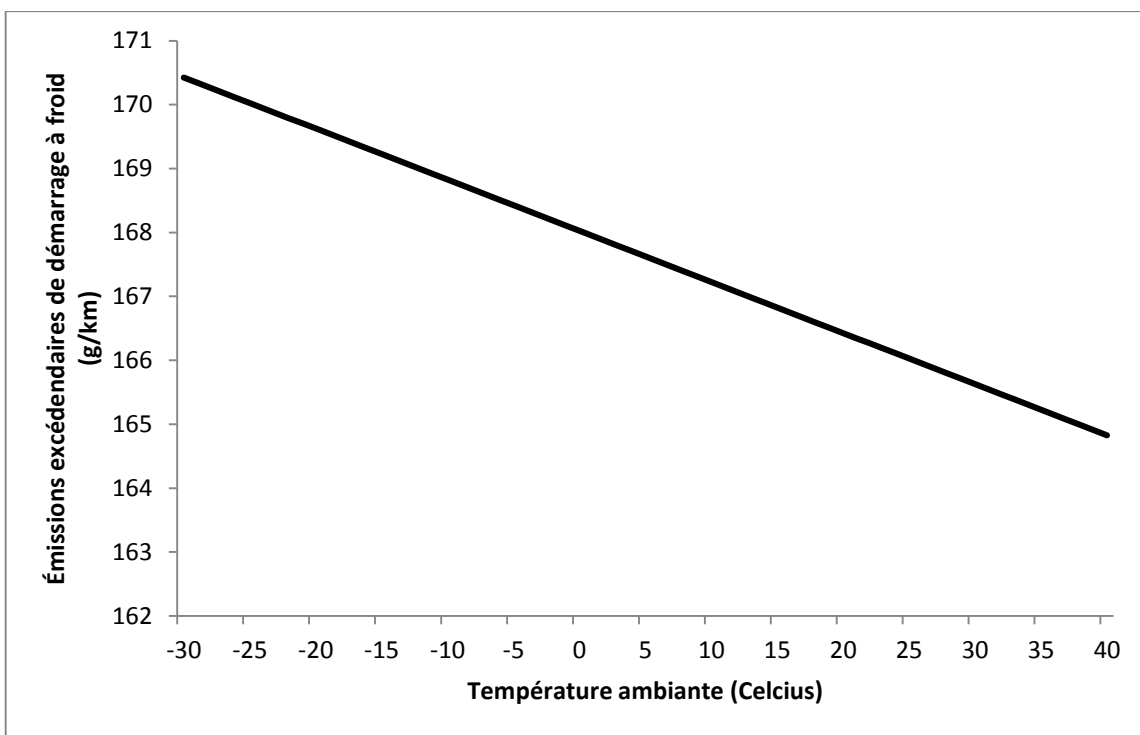


Figure 17: Émissions excédentaires des démarrages à froid selon la température ambiante (André & Joumard, 2005)

Généralement, il est mentionné dans M. F. Weilenmann, Vasic, Stettler, and Novak (2005) que les émissions sont plus faibles lorsque les températures sont élevées: ceci peut être lié au fait que l'air chaud est moins dense et que le moteur travaille moins pour fournir la même puissance, fonctionnant donc plus efficacement. La Figure 18 résume les émissions excédentaires selon l'état du véhicule (à chaud, à froid) et la température.

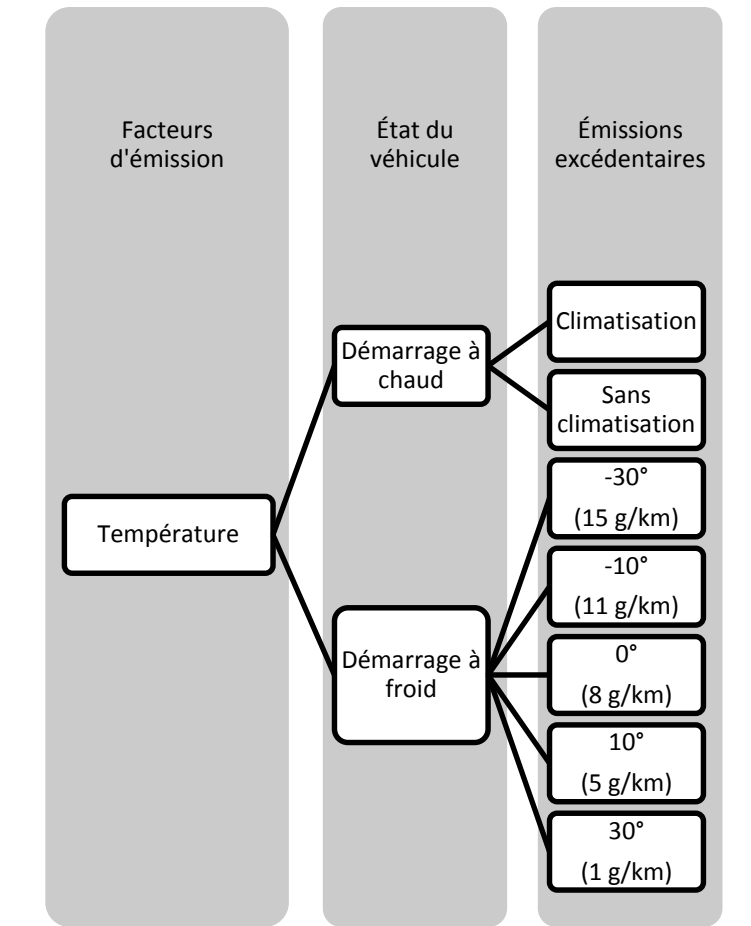


Figure 18: Sommaire des émissions excédentaires selon la température et l'état du véhicule

Humidité

L'humidité a une influence déterminante sur les émissions. Tel qu'illustré à la Figure 19, les émissions de THC et CO augmentent avec une hausse de l'humidité. Aussi, il semble que l'humidité affecte le niveau de NO_x dans la direction inverse. De plus, l'humidité peut affecter les émissions ou la consommation d'essence en contribuant au dépassement du niveau de confort dans le véhicule et en encourageant le recours à la climatisation. L'effet de la climatisation sera discuté dans une prochaine section.

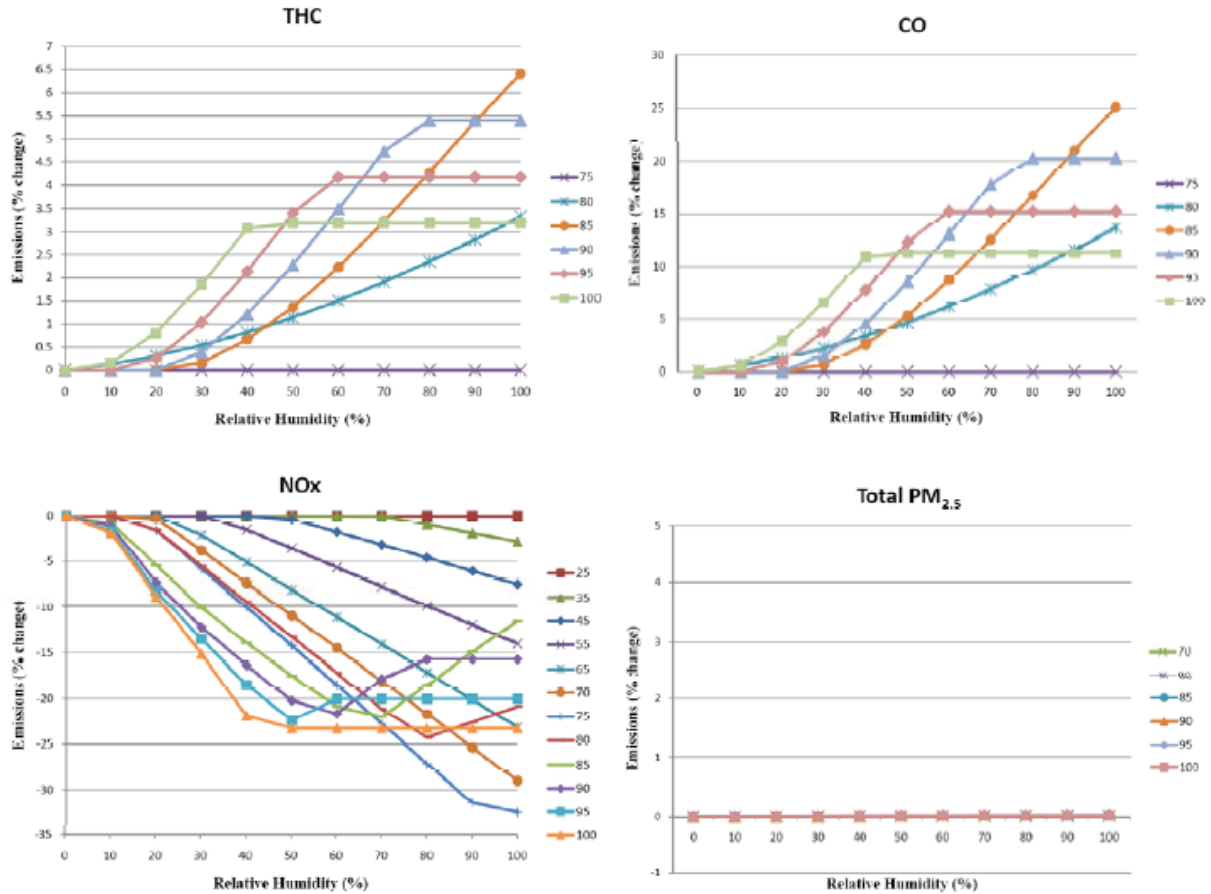


Figure 19: Relations entre l'humidité et les émissions pour différents véhicules et selon différentes températures, en Fahrenheit (estimations 2005) (Choi et al., 2011)

Climatisation

L'influence de la climatisation sur la consommation d'essence et les émissions de CO₂ est un enjeu important, notamment dans le cas des systèmes automatiques plus récents, puisqu'ils sont très souvent en marche. La climatisation des véhicules est le consommateur d'essence le plus important actuellement, après la consommation de base du véhicule liée à son déplacement. L'énergie requise est plus importante que l'énergie requise pour la résistance au roulement, la traînée aérodynamique ou pertes cinétiques pour un véhicule typique de 27 mpg (8.7 l/100km) (Johnson, 2002). L'efficacité du carburant chute de façon importante lorsque la climatisation est en fonction et l'effet est plus important avec des véhicules avec une efficacité énergétique moindre (Welstand, Haskew, Gunst, & Bevilacqua, 2003).

Les études sur la climatisation sont généralement liées à celles sur la température ambiante, l'humidité et la recherche de la zone de confort. Dans les études de confort thermique, on suppose que si une personne n'est pas satisfaite par son environnement thermique, elle activera la climatisation, sans compter que celle-ci se met aussi en marche automatiquement dans certains cas, comme par exemple en cycle de dégivrage du pare-brise. Les facteurs déterminant pour les modèles sont la température de l'air, la

température radiante moyenne, le ratio d'humidité, la vitesse de l'air (à l'extérieur du véhicule), le niveau d'activité et l'habillement.

Dans une étude de l'utilisation de la climatisation selon des niveaux agrégés, Johnson (2002) a développé deux indicateurs: l'indicateur PMV (predicted mean vote – taux moyen de vote prédit concernant la perception de la chaleur) qui prédit la sensation moyenne thermique d'une population pour un bilan thermique donné sur un corps type (Equation 22 et Equation 23) et le PPD (predicted percent dissatisfied – pourcentage prédit d'insatisfaction) qui correspond au pourcentage de la population qui active la climatisation, étant insatisfait par la température ressentie (Equation 24).

$$PMV = (0.303 \times \exp(-0.036 \times M) + 0.028) \times (M - E_{diff} - E_{rsw} - E_{Res} - C_{Res} - R - C) \quad \text{Equation 22}$$

Terme étendu

$$PMV = (0.303 \times \exp(-0.036 \times M) + 0.028) \times \left(\begin{array}{l} M - 3.05 \times 10^{-3}(5733 - 6.99M - p_a) \\ -0.42(M - 58.15) - 0.0173M(5867 - p_a) \\ -0.0014M(34 - t_a) \\ -3.96 \times 10^{-8}f_{cl}((t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4) \\ -f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a) \end{array} \right) \quad \text{Equation 23}$$

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0.03353PMV^4 - 0.2179PMV^2) \quad \text{Equation 24}$$

La climatisation est le deuxième plus important consommateur d'essence après la conduite automobile (M. F. Weilenmann, Alvarez, & Keller, 2010). Dans certains pays, ce problème est plus important. En Inde, 19.4% de la consommation d'essence est liée à la climatisation (Chaney, Thundiyl, Andersen, Chidambaram, & Abbi, 2007). Les États-Unis consomment 7.1 milliards de gallons (27 milliards de litres) d'essence pour la climatisation ce qui se traduit par quelque 57.6 mégatonnes de CO₂. La consommation totale varie beaucoup en fonction du climat régional. Par exemple, les émissions excédentaires causées par la climatisation en Floride sont environ quatre fois plus importantes qu'à New-York (pour une population de taille similaire) (M. F. Weilenmann et al., 2010).

De façon plus microscopique, la consommation d'essence liée à la climatisation est très sensible à la température, l'irradiation solaire et la vitesse. La valeur maximale de CO₂ excédentaire est obtenue en conduite urbaine à 37°C avec un soleil de plomb: ceci se traduit par 82.7 g/km (M. F. Weilenmann et al., 2005). L'effet de la climatisation augmente clairement avec la température et l'irradiation solaire. Les CO₂ excédentaires sont plus importants en milieu urbain (81 g/km à 37°C, au soleil) et moins importants pour la conduite sur autoroute (17 g/km à 37°C), car la vitesse en ville est moins élevée, ce qui implique un temps de parcours plus long pour 1 km. Aussi, la charge du compresseur varie significativement avec la charge thermique de la climatisation. Même si l'essence consommée en plus est plus faible sur autoroute qu'en milieu urbain, cela demeure plus élevé en raison de la climatisation (M. F. Weilenmann et al., 2005). En s'appuyant sur des données expérimentales, M. F. Weilenmann et al., 2005 ont proposé un modèle simple. Ils supposent qu'aucune climatisation n'est utilisée à moins de 5°C.

Ensuite, une charge constante de CO₂ et FC est observée de 5 à 18°C. Ces deux composantes croissent ensuite linéairement avec l'augmentation de la température, pour assurer le refroidissement. L'Équation 25 présente l'équation du modèle (partie linéaire, à partir de 18°C) alors que le Tableau 8 présente les paramètres proposés par les auteurs. Les paramètres a et b sont respectivement le coefficient et la constante de l'Équation 25 alors que le paramètre c correspond aux émissions applicables pour la section de charge constante (5 à 18°C).

$E = aT + b$	Equation 25
--------------	-------------

Les constantes sont comme suit:

Tableau 8. Paramètres pour le modèle propose par M. F. Weilenmann et al., 2005, selon différentes conditions et types de route

CO ₂		Ombre			Soleil		
Paramètre	unité	urbain	Rural	autoroute	urbain	rural	Autoroute
a	g/(km/°C)	2.4422	0.8522	0.6842	2.6889	0.9863	0.7778
b	g/km	-18.7718	-9.9298	-10.9286	-17.1977	-11.2158	-12.1216
c	g/km	18.4666	6.2840	3.6224	23.7000	5.0084	2.1753
FC		Ombre			Soleil		
Paramètre	unité	urbain	Rural	autoroute	urbain	rural	Autoroute
a	g/(km/°C)	0.7804	0.2847	0.2793	0.8488	0.3231	0.2790
b	g/km	-6.0888	-3.5017	-5.0211	-5.0211	-3.7406	-43917
c	g/km	5.7801	2.0163	1.1428	1.1428	1.5853	0.6512

Condition de la chaussée

Dans une étude, Ardekani and Sumitsawan (2010) comparent deux types chaussée: asphalte (AC) versus béton (PCC). Ils ont observé qu'en milieu urbain, à 30 mph, la consommation d'essence par unité de distance est inférieure sur la chaussée de béton. Ces résultats sont basés sur des expériences de conduite sur des sections de route ayant des types de chaussées à Arlington, Texas, et des gradients et rugosité comparables.

Tableau 9. Consommation moyenne d'essence pour les chaussées d'asphalte et de béton (chaussée sèche)

	Consommation moyenne d'essence (10 ⁻³ gals/mile)
Béton, sèche, vitesse constante	40.7
Asphalte, sèche, vitesse constante	42.7
Béton, sèche, accélération	236.4
Asphalte, sèche, accélération	236.9

Le rapport du "National Research Council, Center for Surface Transportation Technology on Effect of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption" confirme aussi le résultat de l'étude précédente. Dans ce rapport, trois types de chaussées sont comparés: asphalte, béton et composite (asphalte recouvrant du béton). Le rapport révèle que **durant l'hiver**, le véhicule consomme 0.3 l/km de plus (2.9%) sur l'asphalte que sur le béton. Aussi, le véhicule consomme 2.3% moins d'essence (0.2 L/km) sur la chaussée composite comparativement au béton (Taylor & Patten, 2006).



Par ailleurs, **pendant l'été**, un véhicule consomme 0.1 L/100 km (1.5%) de plus sur chaussée composite comparativement à une chaussée en béton et 0.05 L/100km (0.3%) de moins que sur une chaussée d'asphalte comparativement au béton (Taylor & Patten, 2006).

4.2.3 Synthèse

L'influence de différents indicateurs est illustrée à la Figure 20. On peut voir que toutes les variables peuvent avoir une influence significative sur les émissions des véhicules. Les résultats de cette analyse sont utiles de deux façons: 1) assister les décideurs dans l'identification des variables contribuant de façon significative aux émissions de CO₂ et par conséquent dans le choix des meilleures stratégies et 2) contribuer au raffinement des modèles permettant d'estimer les émissions à plus grande échelle. Par exemple, l'impact de la vitesse et de l'accélération/décélération peut être considéré par le biais d'un cycle de conduite adapté à la région et qui représente correctement les comportements types de conduite des usagers du réseau routier.

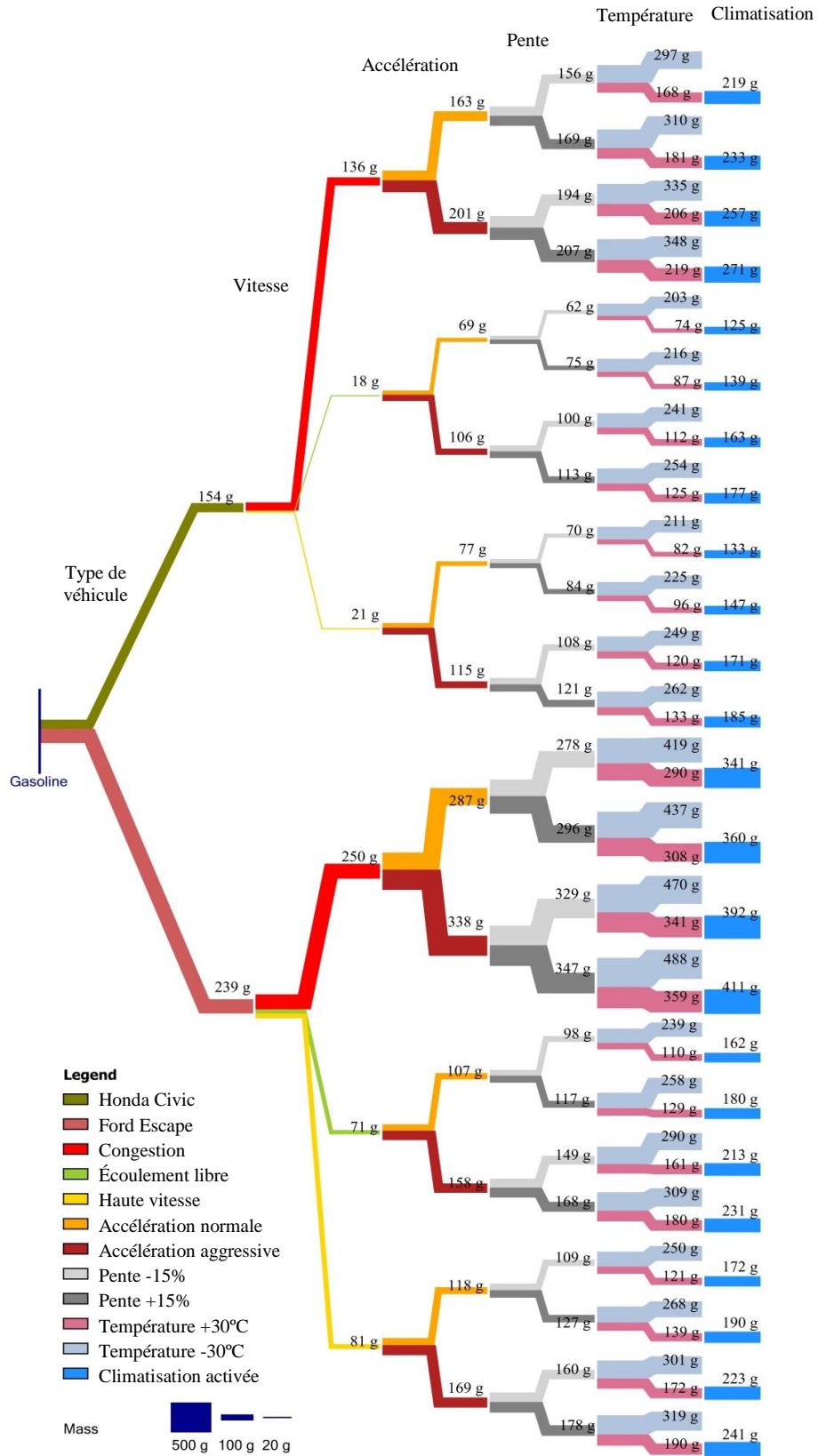


Figure 20: Synthèse de l'influence de différents facteurs d'émission



4.3 Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport

- Étudiant : Kinan Bahbouh (doctorat en cotutelle avec l'INSA de Lyon)
- Supervision : Morency / Berdier (INSA)
- État : Examen de synthèse en cours, recherche en cours
- Financement : Partiel Chaire / CRSNG / France

****** LE TEXTE QUI SUIT EST UN EXTRAIT DU DOCUMENT NON FINAL DE THÈSE DE KINAN BAHBOUH – des éléments pourront être différents dans la thèse finale ******

4.3.1 Introduction

Le Québec est doté d'un grand parc d'infrastructures vieillissantes datant des années 70, ce qui nécessite la mise en place de nouveaux aménagements pour répondre à l'augmentation constante de la demande de déplacements dans les corridors de transport. Afin de faire face à cette problématique, il y a un réel besoin de comprendre la demande, ainsi que son évolution, et d'évaluer les différents scénarios et politiques de transport à mettre en place afin d'optimiser l'utilisation des infrastructures et réseaux disponibles.

Le dernier plan d'action 2013-2020 sur les Changements climatiques du Québec (http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf) stipule la continuation des efforts pour tendre vers une mobilité plus durable. Le plan souligne la compréhension de la demande des transports parmi les facteurs essentiels vers une mobilité durable. Cette compréhension permet d'améliorer la connaissance de la demande de transport (déplacements) et d'évaluer la qualité du système et de l'offre de transport afin de proposer des solutions de mobilité adaptées aux besoins.

Pour y parvenir, il y a une multitude d'outils qui évaluent les différents aspects des projets. Dans le secteur des transports, les outils d'évaluation sont variés : certains évaluent les moyens de transport et le comportement de conduite (empreinte carbone, émissions, GES, etc.) et d'autres évaluent les composants urbains avec une dimension économique ou sociale tels que l'occupation des sols, les lieux d'activités, l'accessibilité, les logements et l'emploi.

Le choix de la méthodologie et des outils d'évaluation est difficile, car ces outils manquent de clarté de définition concernant leurs précisions, avantages et inconvénients ainsi que leurs limites spatiales et temporelles. Enfin, le choix doit être fait en fonction des objectifs à atteindre, la particularité du projet et les ressources disponibles.

L'objectif de cette recherche est de proposer une approche de modélisation basée sur le concept des corridors qui permette de les délimiter, les définir, les caractériser ainsi que d'en évaluer le niveau de durabilité.

4.3.2 Problématique

Le présent projet de recherche s'intéresse à l'utilisation du concept de corridor pour modéliser la demande et évaluer le niveau de durabilité de l'offre en milieu urbain.



Le concept de « corridor » permet d'améliorer la connaissance des déplacements et des comportements des usagers. Rao et al. (*Rao et al., 2011*) définissent le corridor comme une concentration de la demande de déplacements dans l'espace.

Le corridor est considéré comme une unité d'étude, d'analyse et d'évaluation de réseaux de transport. Il permet de couvrir à la fois les enjeux traditionnels liés à la mobilité et les impacts et interactions liés aux thèmes du développement durable tels que l'occupation du sol, l'environnement, la santé humaine et le développement économique (CCE, 2007; Oswald & McNeil, 2010).

Par ailleurs, le concept de corridor est relativement récent; il n'existe pas actuellement de synthèse des connaissances et applications du concept dans le domaine des transports. De plus, sa définition, ses caractéristiques et ses limites restent encore un sujet de discussion (Carr et al., 2010; Debrie & Comtois, 2010).

La présente étude s'intéresse au concept de corridor. Elle propose un état de l'art des différentes typologies et caractéristiques permettant de le clarifier, suggérer une définition adaptée à sa modélisation et proposer une méthodologie d'analyse et d'évaluation de son niveau de durabilité.

Pour y parvenir, ce projet de recherche répond aux questions suivantes :

- Comment définir un corridor en milieu urbain? Quelles sont ses frontières, limitations et caractéristiques?
- Comment modéliser un corridor? Dans quelle mesure le choix des limites (caractéristiques) spatiales et temporelles peut affecter les résultats du processus d'évaluation du niveau de durabilité d'un corridor?
- Pouvons-nous définir un modèle de corridor ou un corridor de référence permettant d'évaluer le niveau de durabilité des différentes offres de transport?
- Comment des méthodologies comme l'Analyse de Cycle de Vie ou d'autres permettent une meilleure compréhension des impacts d'un corridor de transport? Quelles sont celles qui sont les plus adaptées aux projets urbains de transport mobilisant un grand nombre de variables environnementales, sociales et économiques?

4.3.3 Objectifs

L'objectif général du projet est de proposer une méthodologie de caractérisation et d'analyse de la durabilité d'un corridor de transport en vue d'aider à choisir les solutions et les politiques les plus compatibles avec les visions actuelles de développement durable.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs étapes sont nécessaires:

- Réaliser une revue de littérature sur les concepts des corridors;
- Définir et caractériser des corridors urbains;
- Modéliser des corridors urbains à l'aide de données provenant des enquêtes Origine-Destination régionales;
- Proposer une méthodologie d'évaluation du niveau de durabilité des corridors.



4.3.4 Revue de littérature

Cette partie de notre étude vise à présenter la littérature recensée sur le concept de corridor de transport, ses différentes définitions et caractéristiques. Elle présente la méthodologie d'étude de corridor qui permet de les identifier et de les évaluer.

Afin de structurer la revue de littérature, nous proposons un cadre général, suivant la structure du *Guidebook for Corridor-Based Statewide Transportation Planning* (Carr et al., 2010), composé de trois parties :

- **La définition des corridors**: présente l'origine, les définitions, les rôles, les composants, les caractéristiques et les typologies des corridors;
- **La modélisation des corridors** : présente les approches d'identification et de délimitation des corridors;
- **L'évaluation des corridors** : présente des outils d'évaluation du niveau de durabilité des corridors.

4.3.5 Définition d'un corridor

Le corridor est un terme global utilisé dans plusieurs domaines pour présenter un moyen permettant de mettre des espaces en communication les uns avec les autres.

Dans l'histoire moderne, la littérature scientifique (Jian et al., 2005) attribue l'utilisation du concept à l'urbaniste espagnol Soria Y MATA (1844-1920), qui a conçu un modèle d'étalement urbain basé sur le réseau et l'infrastructure de transport; ce modèle permet d'orienter l'extension des villes sur un axe (corridor).

Actuellement, le terme « Corridor de transport » n'a pas une définition unique et standardisée. Le terme est d'abord défini de façon générale:

Le dictionnaire de l'*Association Mondiale de la Route (AIPCR)* (Freire et al., 2007) définit le corridor de circulation routière comme un **Ensemble de routes grossièrement "parallèles" reliant deux points**.

Dans la littérature scientifique, plusieurs auteurs (Debie & Comtois, 2010; Yang et al., 2010) soulignent l'absence d'une définition standardisée de corridor de transport. Ci-dessous, quelques-unes des définitions trouvées:

- Papageorgiou (Papageorgiou, 1995) définit, dans son article en 1995, le corridor comme **un réseau autoroutier** y compris les autoroutes et les routes urbaines.
- Le Transportation Research Board dans son guide sur les corridors de transport (Smith et al., 1999) définit le corridor **comme une zone géographique qui tient compte des déplacements actuels et possibles**.
- Reiss et al. (Reiss et al., 2006), en collaboration avec la Federal Highway Administration (FHA) et la Federal Transit Administration (FTA), a proposé en 2006 la définition suivante : « **Un corridor est un large secteur géographique linéaire défini par les habitudes de déplacement des personnes et des biens existants et prévus** »
- Dans son livre sur la géographie de transport, Rodrigue et al. (Rodrigue et al., 2009) précisent que : **le corridor est une orientation linéaire des routes et des flux reliant des lieux importants** qui agissent comme des points



d'origines/destinations ou comme des points de transbordement. Les corridors sont des entités multi échelles qui dépendent des flux étudiés, ils peuvent être composés de routes, d'autoroutes, de voies de transport en commun, de rails, de lignes maritimes ou de lignes aériennes.

La première remarque sur ces définitions est l'évolution du concept, passant d'un simple **concept physique** (voie) à un **concept topologie-spatiale** (zone, réseaux, etc.) avant d'arriver à un concept **dynamique (zone d'influence)** déterminé selon le flux étudié, qui évolue avec le temps et qui interagit avec son environnement et avec ses composants actuels et **futurs**.

4.3.6 Caractéristiques

L'analyse de différentes définitions permet d'identifier certaines caractéristiques des corridors.

Moyen de connexion

Le corridor a pour fonction principale de mettre des espaces en communication, en offrant des services de transport (transport en commun, transport des marchandises, etc.). Il relie les lieux importants qui agissent comme des points générateurs d'activités (ports, hubs, gares, lieu de travail, habitats...etc.).

Selon Reiss et al. (Reiss et al., 2006), il y a peu de passagers qui parcourent la totalité d'un corridor. De ce fait, un corridor **ne présente pas seulement une liaison entre l'origine et la destination**.

La réussite d'un corridor en tant que moyen de liaison peut être mesurée par **sa capacité**, par **sa continuité** et par **son accessibilité** ainsi que par **la fluidité des services offerts** (Debie & Comtois, 2010; Reiss et al., 2006).

Zone géographique dynamique multiéchelles

Les corridors sont des unités multiéchelles, spatiales et temporelles, identifiées selon des limites spatiales, une composition modale, des flux de transport et des services offerts pour satisfaire les demandes actuelles, potentielles et futures (Cambridge Systematics Inc., 2005; Yang et al., 2010).

Le corridor n'est pas seulement un regroupement de routes et d'autoroutes (réseau de transport), mais plutôt une zone géographique avec des activités et des composants économiques et sociaux qui interagissent entre eux et avec les services de transports qui sont offerts sur le corridor.

Dans la littérature trois éléments principaux définissent le corridor :

- **Réseau de transport du corridor** (Corridor network) : identifié selon sa capacité, son accessibilité et *sa composition modale ainsi que par des critères opérationnels de réseau et les types d'utilisateurs*.
- **Zone d'étude du corridor** (Study area) : contenant le réseau de transport du corridor ainsi que les services offerts (aéroports, gares, etc.) et les espaces à proximité qui influencent la demande de déplacement. La largeur de cette zone varie de 0.5 à 20 km selon la typologie de corridor.

- **Limites temporelles:** le corridor est une unité dynamique qui change avec l'évolution de la demande (demande actuelle, future, heure de *pointe*, etc.)

Unité d'étude et d'analyse

Le corridor est vu comme une unité d'étude qui reflète l'interaction entre le logement, l'emploi et le développement économique qui accompagne les améliorations au chapitre du transport.

Les études qui ont été lancées dans les trois dernières années par le TRB (Carr et al., 2010; Oswald & McNeil, 2010; TRB, 2008, 2010) suggèrent que le corridor est une bonne unité d'étude, d'analyse et d'évaluation des opportunités présentes sur l'ensemble de la zone étudiée. **Le corridor présente un potentiel pour :**

- Explorer le lien direct entre les déplacements et les activités économiques et sociales;
- Comparer et évaluer les bénéfices et les inconvénients des différents projets;
- Identifier les politiques qui renforcent les liens entre les investissements sur les services de transport offerts dans un corridor et le développement économique;
- Identifier les stratégies qui favorisent les effets positifs d'investissement, de planification et d'opération (fréquence de service, espacement entre les stations,...) sur l'aménagement urbain;

Linéaire

Le corridor est un concept linéaire avec une fonction importante de **canalisation et d'orientation** des déplacements entre les générateurs de déplacements (Jian et al., 2005; Priemus & Zonneveld, 2003; Reiss et al., 2006).

De ce fait, le corridor dessert un marché de déplacements ou des marchés de déplacements spécifiques, qui sont influencés par des lignes de désir similaires de mobilité.

S.Smith (Smith et al., 1999) imagine le corridor comme *un bassin récepteur de déplacements* où **les déplacements se regroupent dans une forme linéaire** alimentée par des routes de rabattement et reliées aux réseaux de transport (voir Figure 21)

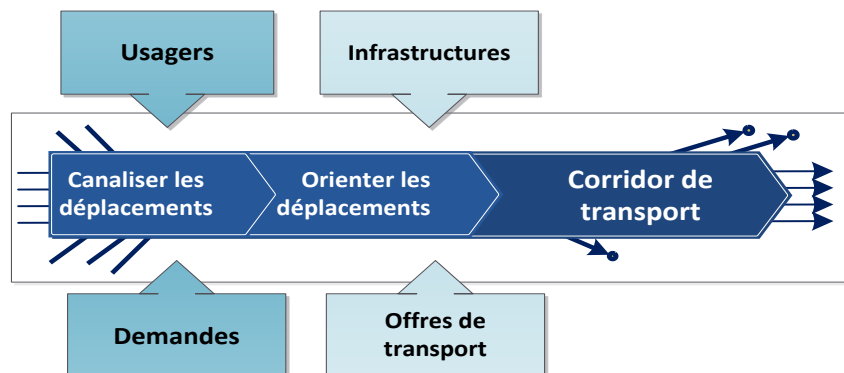


Figure 21 : Concept de corridor (selon Smith et al., 1999)



4.3.7 Rôles

Le corridor a pour fonction principale de **mettre des espaces en communication**. Cette fonction donne aux corridors un rôle important de faciliter l'échange socio-économique et de participer ainsi au développement de la société; ceci traduit bien ses profondes répercussions économiques, sociales et environnementales.

Selon la littérature scientifique, (Debrie & Comtois, 2010; Reid Crowther & partners ltd, 2001; Smith et al., 1999), les rôles des corridors peuvent être multiples:

- Faciliter les déplacements entre des lieux d'importances économique ou sociale;
- Faciliter la communication et la transmission des informations;
- Orienter et renforcer le développement social et urbain dans une zone ou une région;
- Améliorer la qualité de vie des habitants en facilitant l'accès aux différents services;
- Renforcer les relations sociales, économiques et politiques entre les pays ou les régions;
- Encourager l'intégration politique d'un pays ou d'une zone géographique;
- Faciliter l'accès aux ressources (matières premières, produits, services,...);
- Faciliter le commerce;
- Encourager l'ouverture de nouveaux marchés;
- Encourager l'investissement dans une zone géographique;
- Générer des revenus de services offerts sur le corridor;
- Promouvoir l'utilisation des modes de transport alternatifs, verts ou économiques;
- Réduire l'impact environnemental du transport (réduire la distance parcourue, réduire la quantité de carburant consommée, etc.).

Enfin, certains auteurs (Debrie & Comtois, 2010; Jian et al., 2005) résument le rôle des corridors en les décrivant comme **des outils politiques générant des actions sur le transport afin d'orienter le développement et la planification urbaine sur un axe pour inciter les investissements, renforcer le commerce et améliorer la qualité de vie**.

4.3.8 Caractéristiques

Selon les chercheurs et les institutions de transport, (Carr et al., 2010; Debrie & Comtois, 2010), un corridor combine des caractéristiques et des composants physiques et non physiques. Il combine également différents acteurs qui interviennent selon les contextes politiques, financiers et légaux du corridor.

Le Tableau 10 présente les principales composantes du corridor :

Tableau 10. Composantes du corridor

Composantes physiques	Composantes Non-Physiques	Acteurs
Infrastructures (réseaux de transport, etc.)	Informations et données	Usagers
Moyens et modes de transport (véhicules, TC,..)	Flux de services et personnes actuels et futurs	Acteurs institutionnels (villes, provinces, pays)
	Main-d'œuvre	Acteurs opérationnels (sociétés de transport)
	Ressources financières	
Pôles d'activités (habitats, entreprises,..)	Occupation du sol	Acteurs d'interface (administration portuaire, industries, etc.)
Zone géographique	Politiques et réglementations (politiques, sociales, environnementales, légales, etc.)	Institution locale, régionale, internationale

4.3.9 Typologies

Les corridors de transport sont classiquement classés selon l'offre et la demande, leur couverture spatiale et leur composition modale.

Une évolution du concept est remarquée dans la littérature lors de la dernière décennie : des éléments reflétant l'avancement technologique, les préoccupations environnementales et sociales sont de plus en plus intégrés dans les typologies.

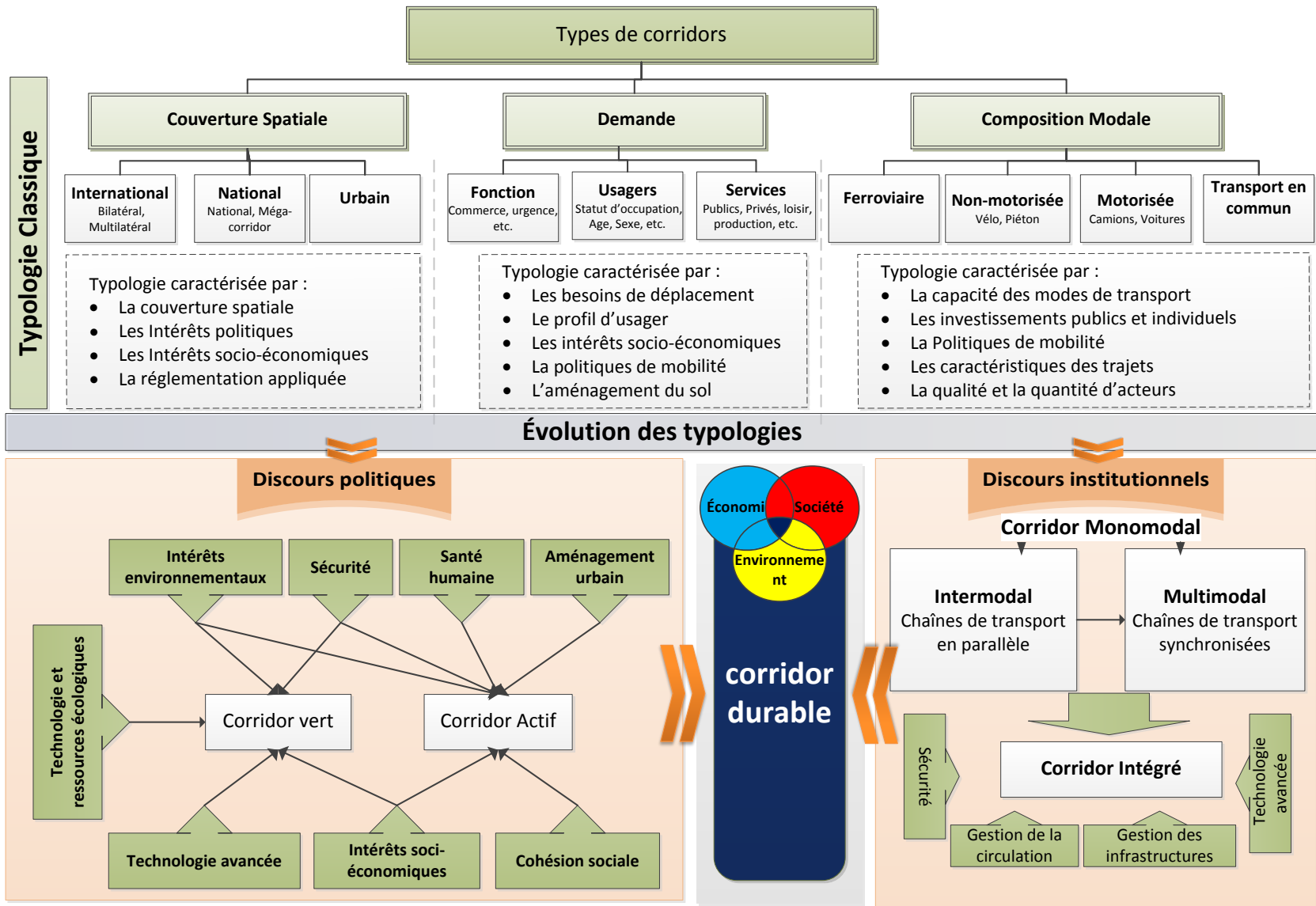
Les corridors modernes doivent être économiquement rentables, accessibles, respectueux de la santé et de l'environnement, participant ainsi à l'amélioration de la qualité de vie et au développement social et économique. Dans cette vision, quatre types principaux de corridors sont identifiés dans la littérature : **les corridors actifs, verts, intégrés et durables**.

Les corridors actifs, verts et intégrés sont considérés comme des démarches vers une mobilité durable; la consolidation des objectifs de ces corridors permet de définir une vision « durable » concernant les corridors.

Les corridors verts, actifs et durables sont des concepts populaires, utilisés dans le langage politique afin de refléter l'augmentation de la conscience environnementale et sociale dans la société.

Selon Debie et Comtois (Debie & Comtois, 2010), les corridors passent de l'intermodalité à l'intégré dans la plupart des discours institutionnels. Ce passage devient vert puis durable dans les discours politiques.

La Figure 22 présente un aperçu de la typologie classique et l'évolution du concept au cours des dix dernières années.



Composition Modale

Ferroviaire

Non-motorisée
Vélo, Piéton

Motorisée
Camions, Voitures

Transport en commun

Typologie caractérisée par :

- La capacité des modes de transport
- Les investissements publics et individuels
- La Politiques de mobilité
- Les caractéristiques des trajets
- La qualité et la quantité d'acteurs

Discours politiques

Intérêts environnementaux

Sécurité

Santé humaine

Aménagement urbain

Corridor vert

Corridor Actif

Technologie avancée

Intérêts socio-économiques

Cohésion sociale

Technologie et ressources écologiques

corridor durable

Discours institutionnels

Corridor Monomodal

Intermodal
Chaînes de transport en parallèle

Multimodal
Chaînes de transport synchronisées

Corridor Intégré

Gestion de la circulation

Gestion des infrastructures

Sécurité

Technologie avancée

Figure 22 : Typologies de corridors



4.3.10 Modélisation de corridor

La modélisation consiste à exploiter les résultats de l'étape de la définition afin d'identifier les corridors.

Le guide SWCP (Carr et al., 2010) identifie l'objectif de la modélisation comme une étape permettant d'identifier les corridors importants. Cette étape permet de mieux comprendre les besoins de déplacements et de mieux évaluer l'importance des projets.

Deux approches sont identifiées dans la littérature pour identifier les corridors:

- Utiliser l'offre et l'infrastructure de transport;
- Utiliser la demande de transport.

Identification physique : « offre »

Cette approche est basée sur l'utilisation des composants physiques (autoroutes, lignes de transport en commun, métro, etc.) pour identifier les corridors. **Elle est utilisée principalement pour identifier l'importance des différents corridors et déterminer les priorités des actions d'amélioration et d'investissement.**

Les démarches d'identification et d'analyse de corridor sont résumées dans le *Guidebook* SWCP (Carr et al., 2010). Selon ce guide, les critères de sélection et de délimitation sont arbitraires, mais nous pouvons faire une synthèse de ceux qui sont les plus utilisés (voir Tableau 11).

Tableau 11. Critères de délimitation de corridor

Grandeur de corridor	Largeur de corridor
Capacité routière	Présence d'infrastructures importantes
Densité de la circulation	Présence d'obstacles géographiques
Vitesse	Typologie de corridor :
Longueur de segments routiers	~0.5-1 km (corridor urbain)
Taux d'accidents	~1-20 km (corridor de commerce, international)
Présence d'infrastructures importantes	

La Figure 23 présente un exemple d'identification de corridor majeur à South-Orange.

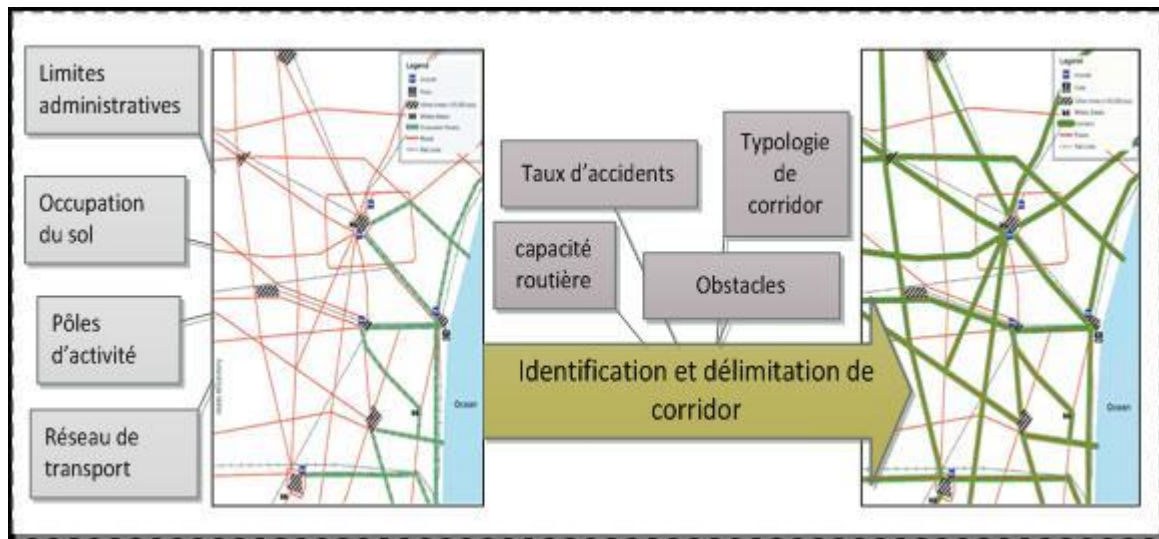


Figure 23 : Délimitation de réseau de corridor (inspiré de Carr et al., 2010)

Identification selon les lignes de désir des déplacements : « demande »

Cette approche s'appuie sur la demande pour identifier les corridors. Elle permet de faciliter la compréhension des caractéristiques de la demande de transport et permet ainsi de proposer des axes d'amélioration adaptés.

La matrice O-D est une source importante d'identification des corridors (Rao et al., 2011). D'autres sources peuvent aussi être utilisées telles que : GPS, téléphones intelligents, réseaux sociaux, etc., dans la mesure où des informations spatio-temporelles sur les déplacements peuvent être extraites.

Malgré la quantité limitée de littérature disponible sur cette approche, les chercheurs (Rao et al., 2011) soulignent son importance pour :

- Analyser et comprendre la demande;
- Planifier les services de transport;
- Visualiser les caractéristiques des déplacements;
- Comprendre l'impact des actions d'aménagement sur la mobilité;
- Proposer des services adaptés aux besoins selon les profils et l'occupation des usagers (âge, sexe, statut, etc.);
- Évaluer les politiques de transport.

La Figure 24 présente un exemple d'identification de corridors urbains à partir de données O-D agrégées (Rao et al., 2011). Les auteurs utilisent presque 31 000 paires OD pour identifier les corridors vers les principales zones de destination. L'image de gauche présente les zones de concentration des destinations et l'image de droite présente les principaux corridors d'accès à ces zones de destination.

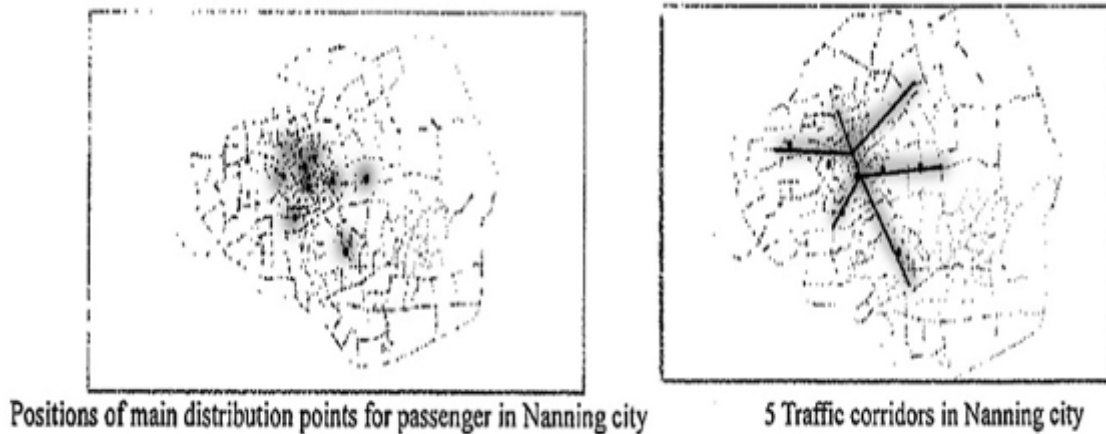


Figure 24 : Identification de corridors à l'aide de paires O-D agrégées par zones (Rao et al., 2011)

4.3.11 Modélisation de corridors de demande

La définition de corridor adoptée par Rao et al (Rao et al., 2011) est la suivante : « *le corridor urbain est une concentration de la demande des transports dans l'espace ..* »; elle permet de voir le corridor comme **un regroupement de lignes de désir**.

Les données O/D sont une bonne source pour comprendre, analyser et représenter la demande de déplacements, mais le défi de regrouper les déplacements similaires afin de faire ressortir des corridors reste entier.

La question est : comment trouver les *concentrations de la demande* à partir de ces lignes de désir?

Le Regroupement (Clustering) présente un potentiel pour identifier les corridors, car il regroupe des objets dans deux classes :

- **Les objets avec une similarité maximisée** sont dans une même classe (forte similarité intra-classe);
- **Les objets avec une similarité minimisée** sont dans des classes différentes (faible similarité inter-classe).

Cinq principales familles de méthodes de regroupement sont identifiées dans la littérature, (Figure 25):

- Le regroupement hiérarchique : forme une décomposition hiérarchique des groupes les uns par rapport aux autres, c'est-à-dire que plus on détaille la hiérarchie, plus les groupes sont spécifiques à un certain nombre d'objets considérés comme similaires.
- Le regroupement par partitionnement : construire k partitions de l'espace et les corriger jusqu'à l'obtention d'une similarité satisfaisante des objets. Selon certaines fonctions (critères), une division de l'espace va se former. Différentes surfaces sont ainsi identifiées représentant les différents clusters.
- Le regroupement par densité (Density-based Clustering) : regrouper les objets en classes tant que la densité excède une certaine limite fixée par l'utilisateur.

- Le regroupement par grille : diviser l'espace en cellules formant une grille et grouper les cellules voisines en termes de distance.
- Le regroupement par modélisation : modéliser les groupes et utiliser le modèle pour classer les points.

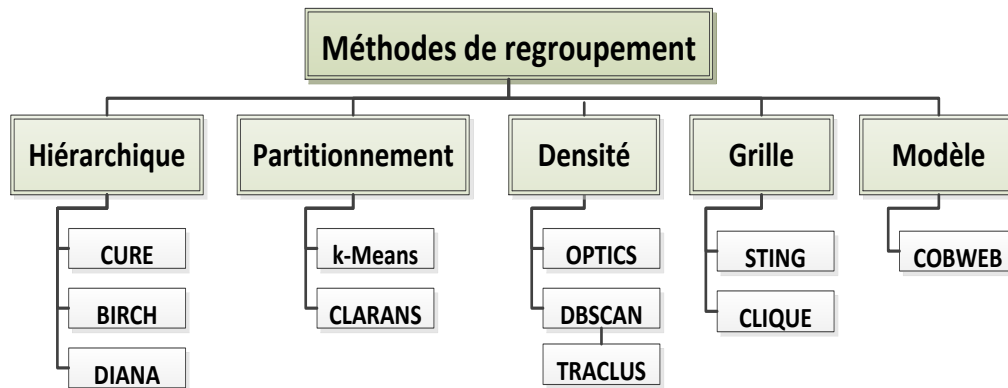


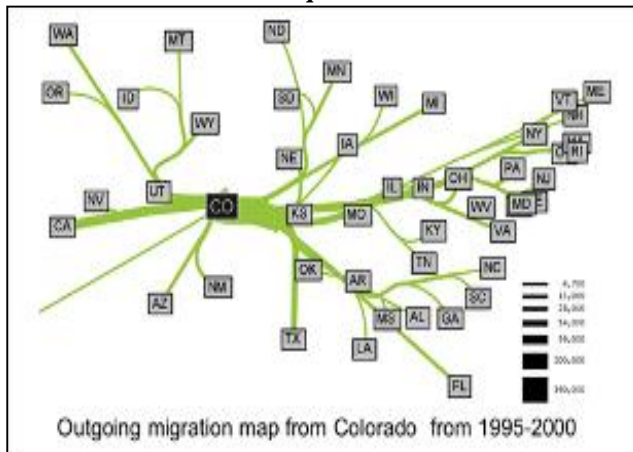
Figure 25 : Principales méthodes de groupement

Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients. Selon Ester et al (Ester et al., 1996) le regroupement présente des avantages quand une tendance générale doit être déterminée à partir d'un grand nombre des données, mais l'inconvénient majeur est au niveau du paramétrage, de la vérification et de la validation des résultats.

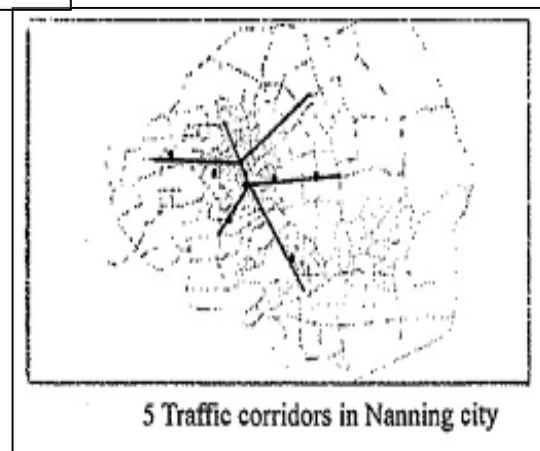
Par ailleurs, plusieurs méthodes de regroupement ont été utilisées pour présenter les mouvements; la Figure 26 en présente quelques-unes.

- **Regroupement hiérarchique** pour présenter l'immigration (Doantam et al., 2005);
- **Regroupement par partitionnement** pour présenter les grands axes des déplacements urbains (Rao et al., 2011);
- **Regroupement par densité** pour présenter les trajectoires des cyclones et les mouvements des animaux (Lee et al., 2007).

A : Méthode hiérarchique



B : Méthode par partitionnement



C : Méthode par densité

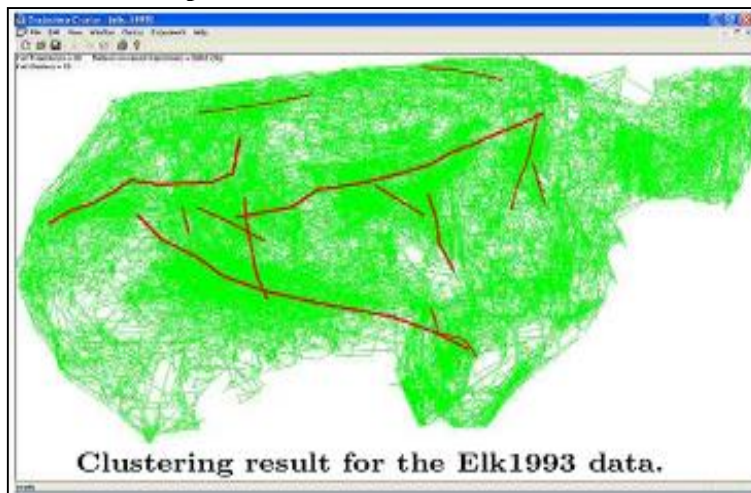


Figure 26 : Exemples de Clustering des mouvements (A: (Doantam et al., 2005); B : (Rao et al., 2011); C : (Lee et al., 2007)

4.3.12 Évaluation de corridor

Malgré la diversité des outils qui évaluent les différents impacts des transports, il n'existe pas de méthodologie standard permettant d'évaluer, de façon globale, les corridors de transport (Carr et al., 2010).



Aussi, la majorité des outils évalue les impacts directs des projets de transport, tels que le bruit et la pollution de l'air; d'autres effets indirects tels que la contamination de l'eau ou du sol, l'épuisement des ressources, le changement climatique ou les risques sur la santé humaine sont souvent négligés.

La question est : **comment pouvons-nous élargir le champ d'analyse pour intégrer les impacts indirects ?** Y a-t-il une méthodologie permettant **de structurer des processus d'évaluation?**

Le guide sur les corridors verts (Holte et al., 2012) recommande l'intégration de la méthodologie de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) dans les processus d'évaluation afin d'harmoniser *les processus de prise de décision et d'élargir le champ de l'évaluation* environnementale.

L'Analyse de Cycle de Vie est un outil d'aide à la décision permettant de comparer des objets (biens, services, produits) ayant une fonction similaire.

La norme ISO14040 (ISO, 2006) définit l'ACV comme un outil d'aide à la décision permettant d'évaluer les impacts potentiels 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.

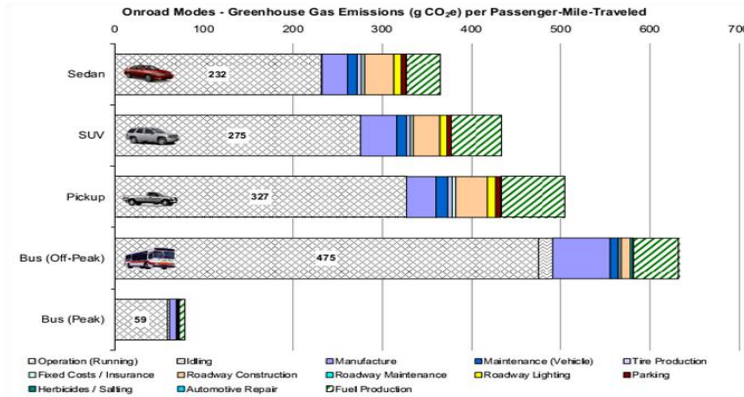
L'ACV offre un cadre normalisé d'évaluation défini dans la série ISO 14040. Ce cadre se compose de quatre phases :

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

L'ACV offre plusieurs types d'indicateurs couvrant la santé humaine, la qualité des écosystèmes, les changements climatiques et les ressources naturelles. De plus, l'ACV offre la possibilité d'intégrer des facteurs de pondération afin de regrouper les résultats en scores uniques pour faciliter la prise de décision.

Par ailleurs, plusieurs projets de mobilité ont été évalués en utilisant l'ACV; quelques-uns sont présentés ci-dessous :

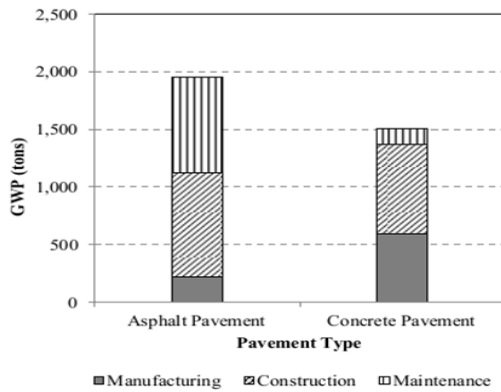
- **Évaluer les impacts du choix modal** : train, voiture, bus, etc. (Figure 27, Chester & Horvath, 2008);



Unité de comparaison :
gCo2/ voyageur/mile
(Chester & Horvath, 2008)

Figure 27 : Évaluer les impacts du choix modal

Évaluer des infrastructures : structures, matériaux, etc. (Figure 28, Milachowski et al., 2011; Yu & Lu, 2013);



Unité de comparaison : Rechauffement
climatique (Global warming potential
estimates GWP) (Yu & Lu, 2013)

Figure 28 : Évaluer des matériaux de construction

- Évaluer des systèmes de contrôle de la circulation : intersection avec signalisation ou sans signalisation, etc. (Park & Malakorn, 2013).

4.3.13 Méthodologie générale

L'objectif de cette recherche est de définir, délimiter, caractériser et modéliser les corridors de transport afin d'en évaluer le niveau de durabilité.

Nous pouvons distinguer trois étapes principales dans la réalisation de ce projet (Figure 29): **la définition, la modélisation et l'évaluation des corridors.**

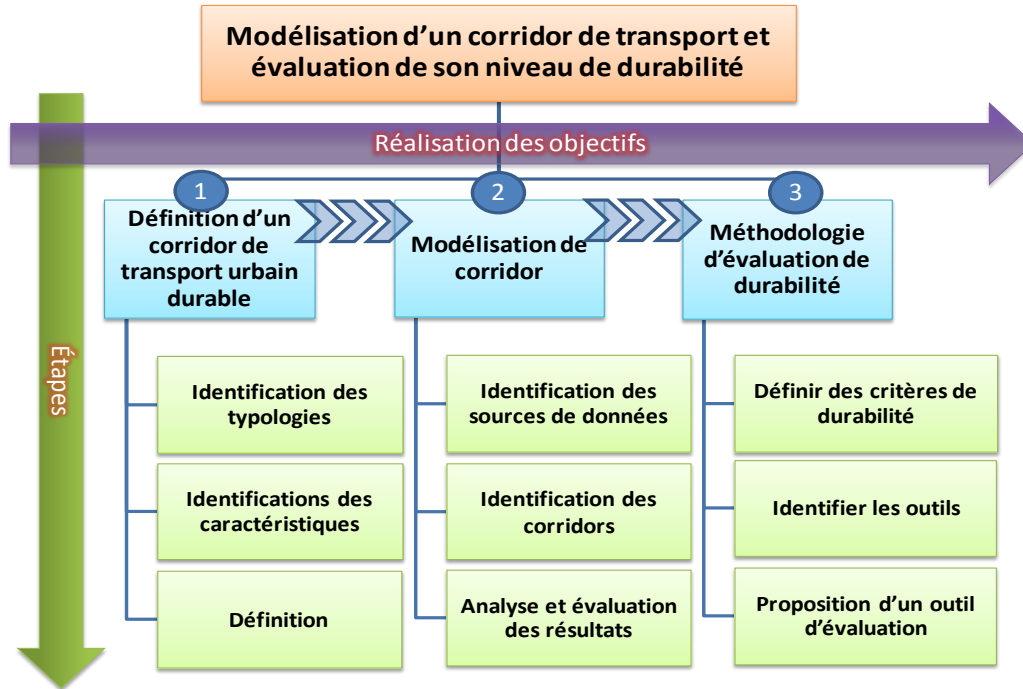


Figure 29 : Méthodologie de recherche

Définition d'un corridor de transport urbain durable

À la différence de certains types de corridor tels que les corridors internationaux et de commerces, il y a peu d'études qui abordent le corridor de transport urbain durable.

Pour commencer, il est prévu :

- D'établir une synthèse concernant les différents types des corridors;
- D'identifier les différents acteurs dans le milieu urbain;
- D'identifier les enjeux, les caractéristiques et les limites spatiales et temporelles;
- De définir un corridor en milieu urbain pour le contexte montréalais;
- D'identifier les visions concernant les corridors urbains durables.

Modélisation des corridors

La revue de littérature concernant la modélisation des corridors de demande permet de constater :

- Un manque de précision généré notamment par l'utilisation de données agrégées;
- L'absence d'une méthodologie claire d'identification (méthodes, paramétrages, validation, etc.) de corridors urbains.

Afin de combler ce manque, nous allons utiliser les données désagrégées de l'enquête O/D de la région de Montréal comme source principale de données. Les avantages de l'enquête O/D sont au niveau de la disponibilité, la quantité et la qualité des données qui

permettent de présenter la demande avec ses caractéristiques socio-économiques. Nous restons ouverts à enrichir notre base de données par d'autres sources.

Les résultats de la définition d'un corridor permettront de tester plusieurs méthodes appropriées à la définition retenue. La Figure 30 présente les étapes proposées pour atteindre notre objectif. Nous proposons, entre autres, d'expérimenter différentes méthodes de regroupement (Clustering). Ces méthodes semblent appropriées à l'identification des corridors à partir de la demande, mais il y a une nécessité de bien choisir **la méthode, les paramètres et les méthodes de validation**. Les expérimentations permettront de bien évaluer ces aspects.

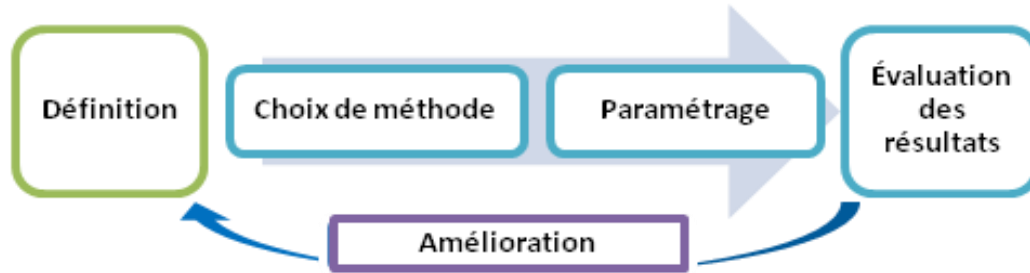


Figure 30 : Étapes d'identification des corridors

Dans notre cas, la méthode choisie doit prendre en compte la largeur du corridor, la direction et le facteur de *pondération* des lignes de désir.

Des essais ont été réalisés en utilisant plusieurs méthodes; ceux réalisés en utilisant la méthode TraClus *semblent* les plus intéressants jusqu'à présent.

De l'identification des trajectoires des cyclones à l'identification des corridors (TraClus)

La méthode de *regroupement* TraClus proposée par Lee et al. (Lee et al., 2007) a été utilisée pour regrouper des mouvements libres et orientés selon des axes (immigration et déplacement des animaux, trajectoires des cyclones). Les caractéristiques de ces mouvements semblent similaires à celles des lignes de désir.

Deux étapes *sont* nécessaires pour identifier la concentration des mouvements (Figure 31):

1- Étape de partitionnement :

- Identifier les points où le comportement d'un déplacement change rapidement;
- Représenter le déplacement par petits segments.

2- Étape de regroupement :

- Mesurer la distance entre les différents segments;
- Identifier les segments similaires;
- Élaborer les corridors.

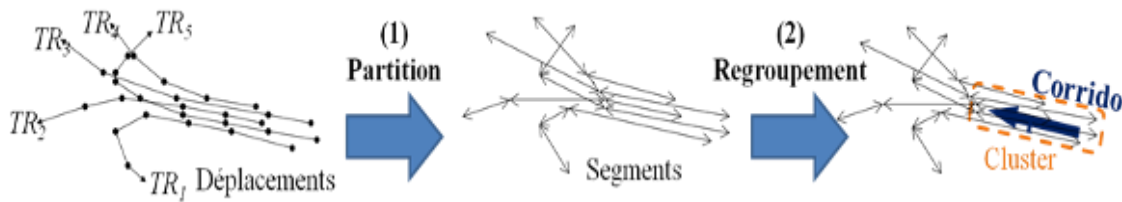


Figure 31 : Étapes de TraClus

TraClus utilise les paramètres suivants :

- **Paramètres de partition** : permettent de fractionner les lignes de déplacement en utilisant une approche dite Minimum Description Length (MLD).
- **Paramètres de similarité des segments** : permettent de mesurer la proximité des segments afin d'identifier les segments similaires.
- **Paramètres de densité** : permettent d'identifier les groupes de segments (corridors) selon :
 - ϵ - (**neighborhood**) : Rayon maximum de voisinage;
 - **MinLns** : Nombre minimum de segments dans le voisinage ϵ d'un segment.

Des essais ont été réalisés en utilisant la méthode TraClus sur un échantillon de 2 700 paires O/D (voir Figure 32). Le résultat obtenu, même s'il semble intéressant, nécessite plus d'analyse et d'évaluation.

La méthode TraClus peut être appliquée sur les données O/D, mais une adaptation sera nécessaire pour :

- Intégrer les facteurs de pondération;
- Définir la ou les largeurs des corridors (ϵ);
- Définir la densité souhaitée (MinLns);
- Intégrer la dimension temporelle;
- Intégrer la présence des obstacles ou des points de passage obligatoires;
- Intégrer la présence des pôles d'activités.

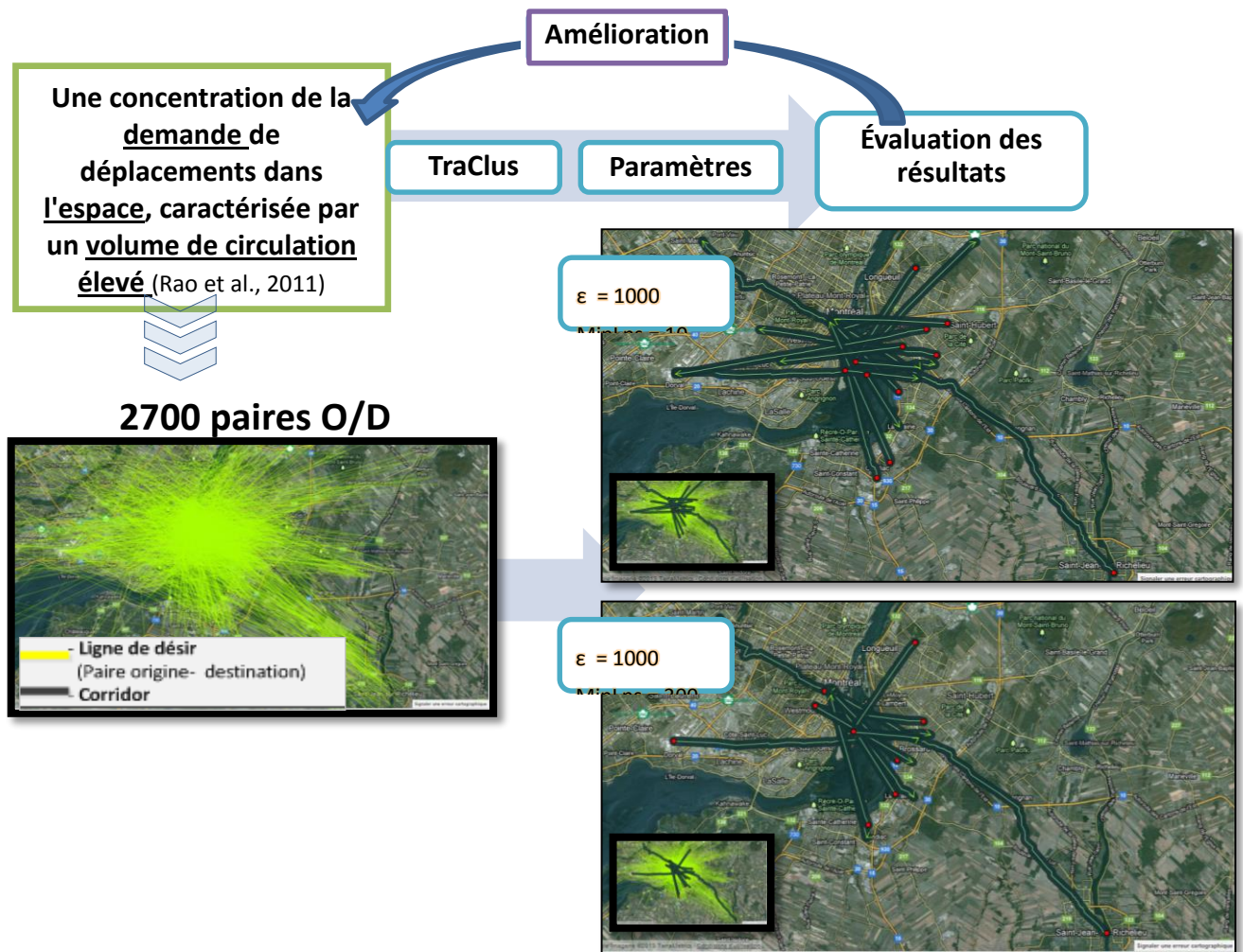


Figure 32 : Résultat d'identification des corridors avec TraClus

Méthodologie d'évaluation du niveau de durabilité

L'intégration et l'évaluation des impacts environnementaux, sociaux et économiques figurent parmi les défis rencontrés lors de l'évaluation des corridors (Carr et al., 2010).

Afin de répondre à ce besoin, nous allons exploiter les résultats des étapes précédentes pour identifier un (des) corridor(s) de références. Les corridors de référence nous aideront à évaluer l'écart entre la demande et l'offre.

Pour y parvenir, des méthodes ayant une meilleure prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux tels que l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) sont explorées pour proposer une méthodologie d'évaluation du niveau de durabilité des corridors.

Nous proposons une méthodologie en quatre phases, inspirée de l'ACV:

1. Phase de définition des objectifs et du champ de l'étude (Étape 1 de notre projet)
2. Phase d'inventaire et modélisation (Étape 2 de notre projet)
3. Phase d'évaluation qui consistera à :



- Identifier les catégories d'impacts;
- Identifier les méthodes d'évaluation;
- Faire l'évaluation.

4. Phase d'interprétation qui consistera à :

- Analyser et interpréter les résultats de l'évaluation;
- Identifier les points sensibles (points chauds);
- Identifier et évaluer différents scénarios

4.3.14 Contributions attendues

Nous identifions quatre contributions attendues de la thèse à l'avancement des connaissances. Ces contributions vont consister à :

- **Améliorer la compréhension du concept de corridor** dans les milieux académiques et opérationnels. Ces connaissances pourront éclairer les chercheurs et les gestionnaires dans leurs réflexions sur le sujet.
- **Construire un outil qui permettra de mieux comprendre les caractéristiques de la demande** à partir des données O/D. La quantité des données O/D présente un défi d'exploitation optimale, de représentation et de compréhension.
- **Proposer une méthodologie qui permet d'évaluer l'offre** à travers la production d'une référence (corridor de demande); nous pouvons évaluer l'adaptation des services proposés ou mesurer l'écart entre l'offre (différents modes) et la demande.
 - Les résultats de l'outil proposé de modélisation devraient intéresser les gestionnaires qui souhaitent présenter les déplacements d'une manière simple ou qui souhaitent les caractériser afin d'évaluer des politiques ou de proposer des services de mobilité adaptés aux besoins.
- **Proposer une méthodologie qui permet d'évaluer la durabilité de l'offre actuelle ou future.** Cette contribution devrait intéresser les décideurs qui cherchent une méthodologie structurant les étapes de la prise de décision couvrant à la fois les enjeux traditionnels liés à la mobilité et les impacts et interactions liés aux dimensions du développement durable.



4.4 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
- Financement : Chaire Mobilité

****** LE TEXTE QUI SUIT EST UN EXTRAIT DU DOCUMENT NON FINAL DE MÉMOIRE DE CATHERINE PLOUFFE – des éléments pourront être différents dans le mémoire final ******

4.4.1 Introduction

La prévision de la demande de transport permet une planification réussie des infrastructures routières et des réseaux de transport. L'évolution des comportements de mobilité est cependant difficile à prévoir et à expliquer puisque ces comportements sont affectés par une multitude de facteurs. Les variables démographiques, plus précisément l'âge de l'individu, sa cohorte et le sexe sont largement acceptées par la communauté scientifique comme des facteurs influençant les comportements de mobilité (Morency et Chapleau (2008), Pochet et Corget (2010), Bussière (1992)). En plus de l'évolution de la structure de la population et des formes urbaines, il importe également de considérer les changements dans les habitudes de vie, qui influencent tout autant les comportements de mobilité. Certains phénomènes peuvent avoir des effets instantanés, de courte ou de longue durée, inscrivant ainsi de nouvelles tendances sociales. Ces derniers, ayant une temporalité propre, peuvent affecter différemment les générations (Krakutovski, 2004).

4.4.2 Problématique

Les méthodes de prévision de mobilité actuellement utilisées peinent à expliquer certaines nouvelles tendances. De plus les résultats des modélisations sont difficiles à interpréter puisque l'importance des variables explicatives peut évoluer, et il arrive, notamment avec les variables démographiques, qu'elles soient fortement corrélées entre elles (Grégoire (2011) et Pépin (2012)). Les effets de ces variables doivent être quantifiés de façon à reconnaître les tendances émergentes. Enfin, les méthodes de prévision de la demande actuellement employées pour les projections montréalaises considèrent peu l'appartenance de l'individu à son environnement immédiat; pourtant, le ménage, la localisation résidentielle et l'offre de transport qui en découle ont certainement une incidence sur la mobilité.

4.4.3 Objectifs spécifiques

Le projet vise donc à contribuer à l'affinement des techniques de modélisation par l'application de méthodes d'analyse démographiques et multiniveaux. Cela permettrait de considérer les caractéristiques individuelles autant que les caractéristiques des autres niveaux liées à l'individu (notamment ménage et voisinage), et ainsi faciliter la reconnaissance des tendances émergentes. L'objectif d'un modèle mieux adapté au



contexte évolutif de la demande de transport, et aisément applicable sur l'ensemble de la population du grand Montréal, est donc ici poursuivi.

Pour répondre adéquatement à cet objectif principal, plusieurs objectifs plus spécifiques peuvent être énoncés :

- Décrire la mobilité urbaine montréalaise et présenter les grandes tendances en matière de mobilité urbaine;
- Identifier les variables explicatives de la mobilité urbaine et comprendre leur incidence;
- Quantifier les variables explicatives pertinentes en vue de l'application du modèle;
- Appliquer et tester le modèle sur la population de la grande région métropolitaine.
- Évaluer la pertinence des modèles APCC (âge-période-cohorte-caractéristiques) et des logiques multiniveaux pour comprendre les tendances et prévoir la demande de transport;
- Formuler des recommandations visant à améliorer les méthodes actuelles de projection des comportements de mobilité.

4.4.4 Méthodologie

Afin de bien comprendre l'environnement du projet de recherche, les données utilisées, la méthodologie générale ainsi que les assises, des techniques d'analyse démographique seront brièvement présentées.

Source de données

Les données utilisées dans le projet de recherche proviennent des enquêtes Origine-Destination réalisées en 1987, 1998 et 2008 dans la grande région de Montréal. Il a été choisi de ne pas inclure les données de l'enquête OD de 1993 pour des questions de non-comparabilité dans les modalités de déclaration des déplacements. En outre, puisque le pas entre enquêtes doit être constant, ceci a aussi mené au retrait de l'enquête de 2003 dans l'analyse. Les bases de données sont, à l'origine, orientées vers les déplacements et chacun d'eux constitue un objet. Afin de pouvoir conduire les analyses démographiques, les objets doivent plutôt être des individus. Les caractéristiques liées aux déplacements sont donc agrégées selon chaque personne. Les attributs du ménage sont identifiés, et réattribués à chacun des membres composant le ménage.

Pour la variable de densité du secteur municipal de résidence, les données proviennent des recensements de Statistique Canada.

Éventuellement, les réseaux routiers existant à chacune des périodes d'enquête, ainsi que les niveaux de service dans les transports en commun, pourraient être intégrés si l'analyse descriptive laisse présager des différences importantes entre des régions ou des secteurs différents au niveau de l'offre de transport. Les attributs liés aux réseaux routiers pourraient être disponibles grâce au Fichier du réseau routier (FRR) et au fichier schématique du réseau routier (FSRR) pour le RMR et AR. L'offre de transport en commun et les indicateurs qui en découlent peuvent quant à eux être potentiellement obtenus des archives de l'AMT, des données des réseaux de MADITUC et des données GTFS. Les sources plus variées de données de transport en commun sont dues au fait que

les techniques de collecte et de diffusion de données ont grandement évolué ces vingt dernières années.

Méthodologie générale

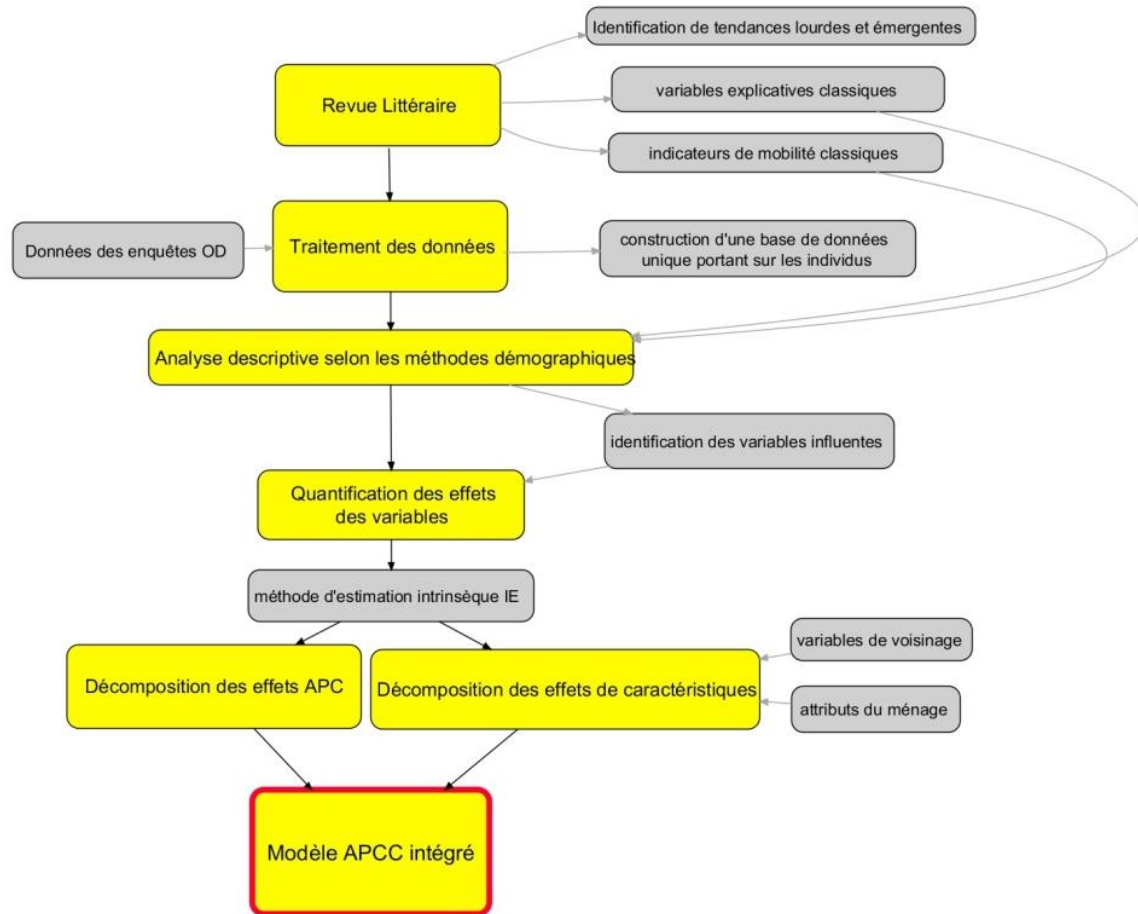


Figure 33. Schéma méthodologique

Une revue de littérature, étape préliminaire du projet, a permis d’identifier les variables explicatives et les indicateurs couramment utilisés dans l’étude des comportements de mobilité. Les tendances lourdes et émergentes sont également documentées. Cette étape permet donc de proposer des pistes d’analyse et de réflexion. L’analyse descriptive vient ensuite confirmer ou infirmer certaines des tendances relevées, et préciser le choix des variables qui seront intégrées au modèle.

La technique d’estimation intrinsèque des effets de l’âge, de la cohorte et de la période rend possible l’identification des effets des variables démographiques. L’ajustement du modèle Âge-Période-Cohorte est ensuite poursuivi à travers l’intégration des variables de voisinage et de ménage, et selon les impacts de ces variables sur la performance du modèle.

Schéma conceptuel

La Figure 34 permet de comprendre les liens entre les variables dépendantes et indépendantes qui seront traitées dans le projet de recherche. Les variables

démographiques sont liées à l'individu sans que ce dernier puisse les modifier par un quelconque choix. L'individu peut cependant influencer certains de ses attributs, telle que sa motorisation, la présence d'enfants dans son ménage et sa localisation résidentielle. Même si ces caractéristiques sont évolutives, puisqu'influencées par l'âge, le sexe, la cohorte de naissance et la période (époque), elles peuvent être considérées ici comme des variables explicatives. Les indicateurs de mobilité, tel que le taux de mobilité, la part modale des divers modes de transport et la distance parcourue (calculée, pour les fins de ce projet, à vol d'oiseau) sont des variables dépendantes. Les deux types de variables explicatives (indépendantes fixes et indépendantes comportementales de longue durée) influencent le comportement de mobilité, variable dépendante comportementale à court terme.

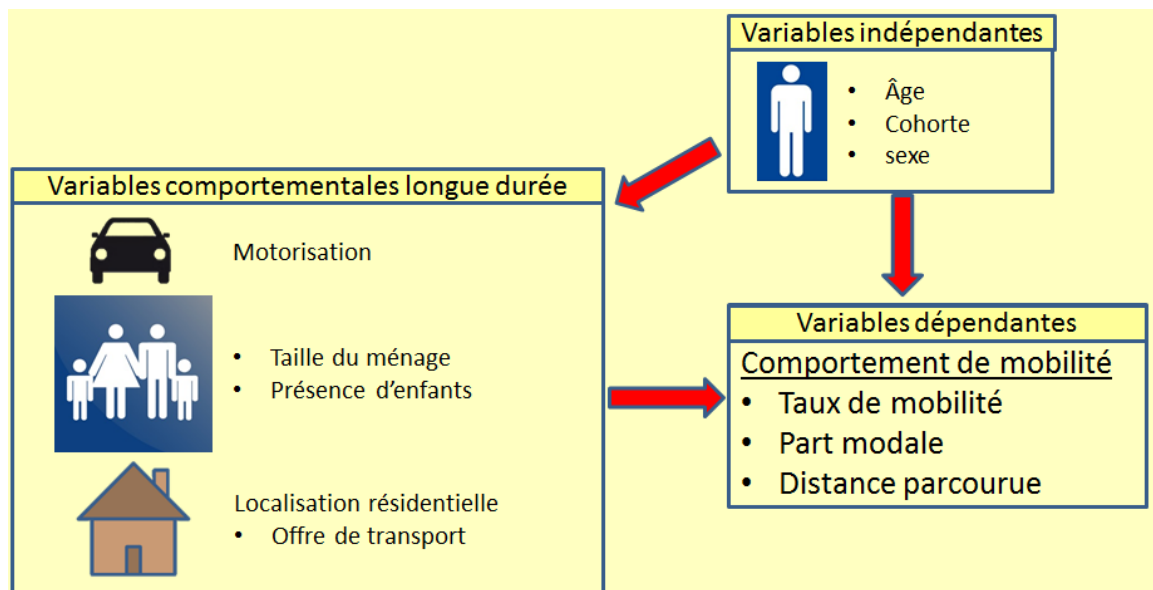


Figure 34. Relation entre les variables

Analyse démographique

L'analyse démographique permet de visualiser un comportement selon une perspective longitudinale et transversale. La technique se résume à dessiner une courbe par cohorte ou par période en respectant l'intensité du phénomène à chaque âge.

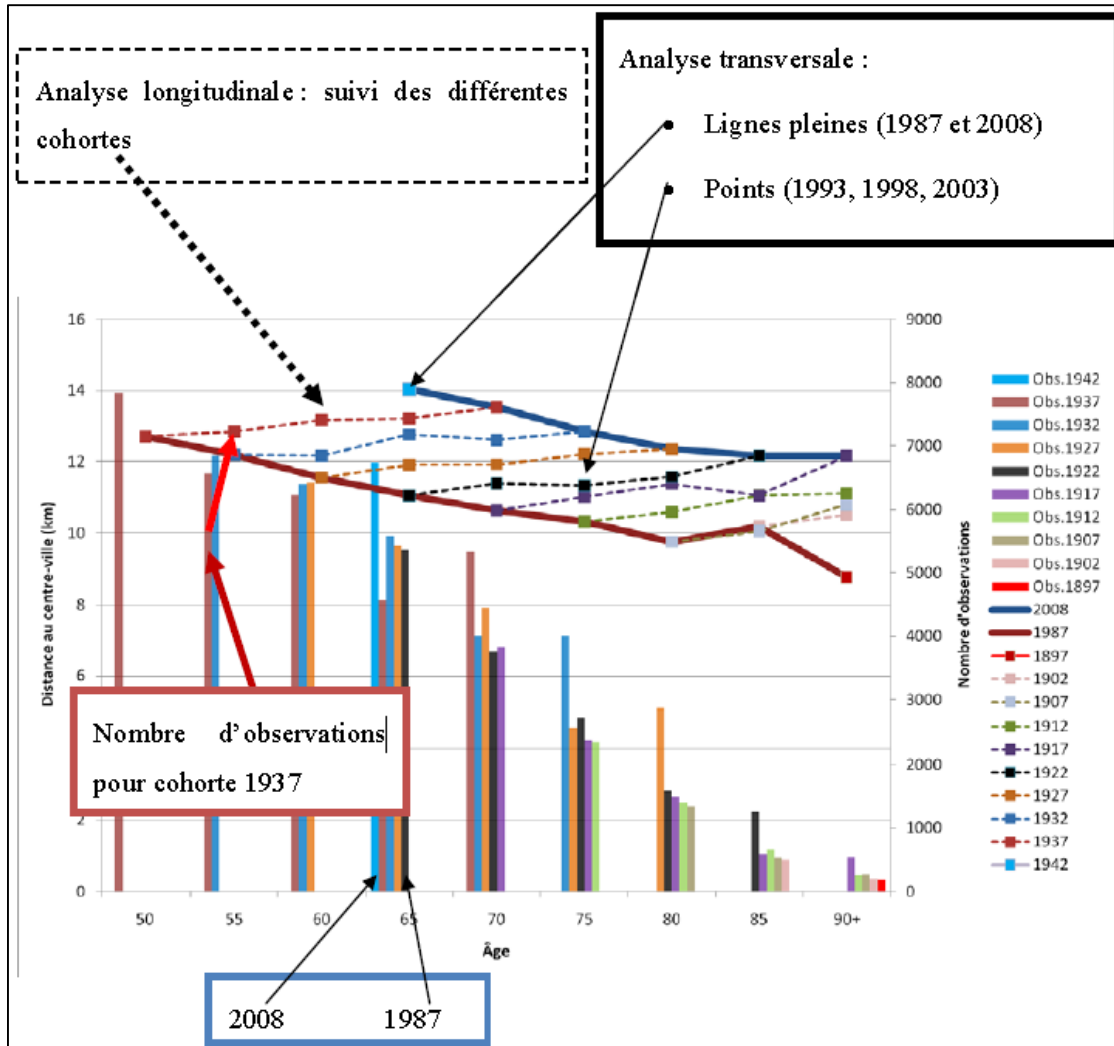


Figure 35. Exemples d'analyse démographique : longitudinale et transversale (Grégoire, 2011)

4.4.5 Résultats actuels et attendus

Analyse descriptive

Certaines tendances lourdes communément admises sont plus particulièrement observées, et laissent entrevoir certaines différences et réalités qui ne sont pas toujours perçues de prime abord.

La croissance de la motorisation

La croissance de la motorisation semble affecter indépendamment les hommes et les femmes. Une évolution des proportions selon l'âge de l'individu laisse supposer qu'à certaines étapes du cycle de vie, les individus ont plus tendance à se motoriser individuellement de façon plus intense. La proportion des auto-suffisants (personnes vivant dans des ménages où le nombre d'automobiles est supérieur ou égal au nombre de personnes en âge de conduire) diminue au fil du vieillissement, les individus changeraient alors de type de motorisation : sans-autos (personne vivant dans un ménage ne possédant aucun véhicule) ou auto-négociée (personne vivant dans un ménage dans lequel le

nombre d'automobiles possédées est inférieur au nombre de personnes en âge de conduire).

L'idée d'une tendance, soutenue par la littérature, d'une motorisation individuelle de plus en plus propagée est vérifiée ici (Figure 36), lorsqu'on remarque la grande différence de proportion d'auto-suffisants de 1987 avec celle de 2008.

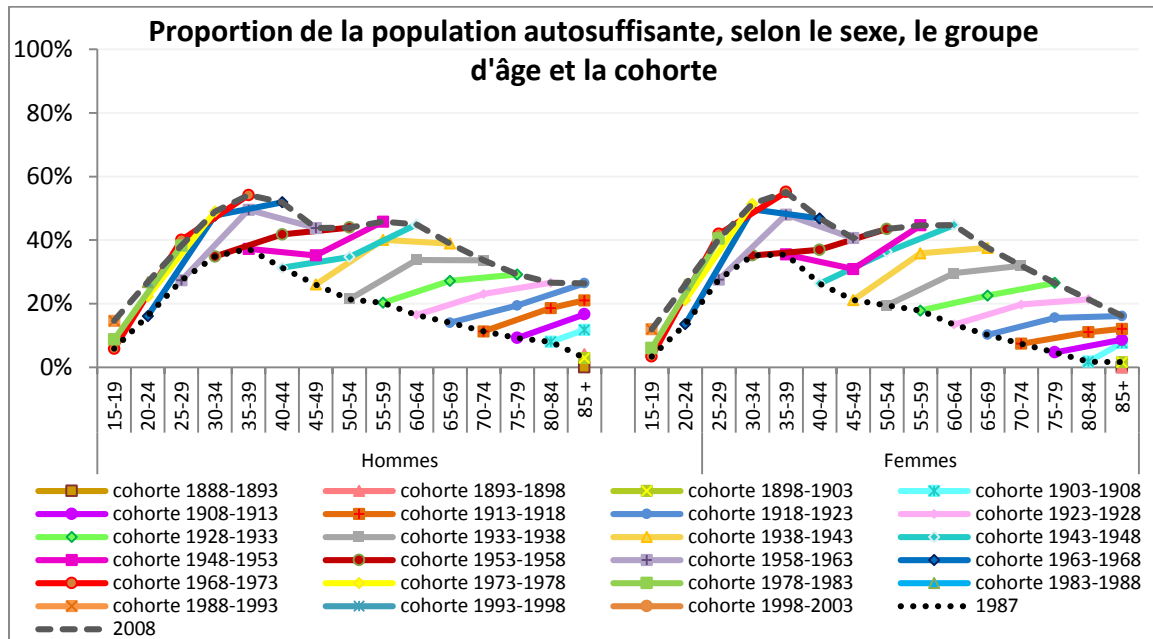


Figure 36. Proportion de la population auto-suffisante dans la population totale, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

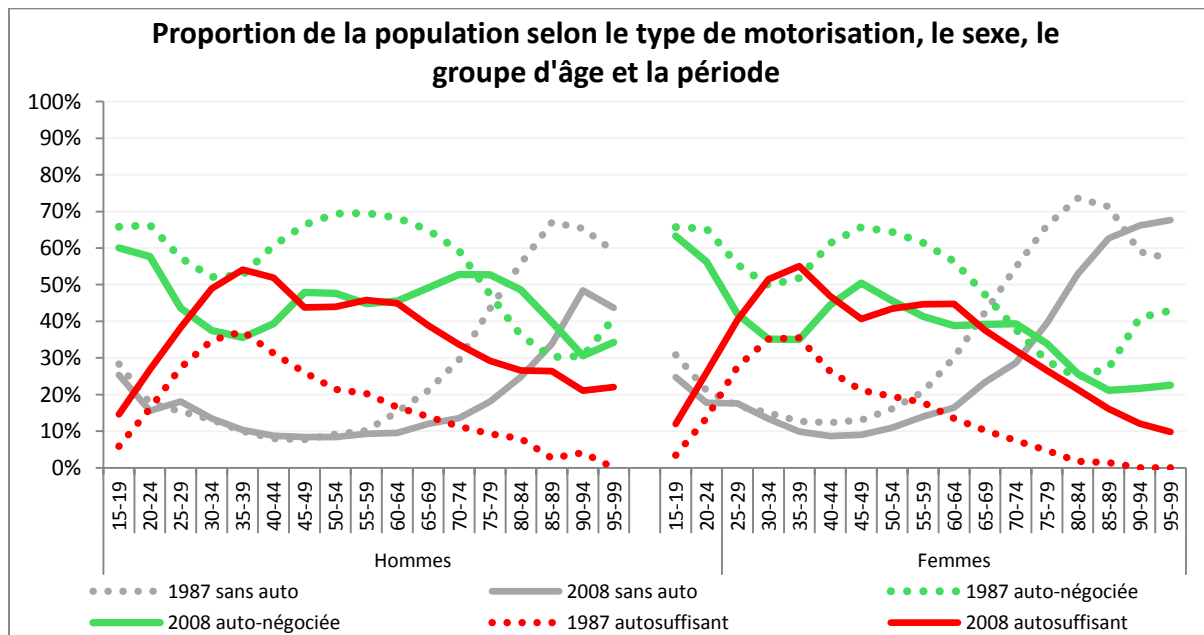


Figure 37. Proportion de la population selon le type de motorisation, le sexe, le groupe d'âge et la période

L'évolution de la motorisation auto-suffisante au sein de la population se fait évidemment au prix d'une diminution des proportions des autres types/niveaux de motorisation. Ainsi, on remarque avec le temps (effet de période) une réduction importante de la part des auto-négociés au sein de la population. Aux âges plus avancés (50 ans et plus) la diminution des sans-auto profite également à la motorisation autosuffisante.

Taux de mobilité et distance parcourue quotidiennement : une différence selon le sexe?

Malgré de très faibles différences en ce qui concerne le taux de mobilité selon le sexe (voir Figure 38), on remarque que les différences sont plus importantes lorsqu'on considère la distance parcourue quotidiennement (voir Figure 39). Les femmes auraient donc tendance à faire de plus petits déplacements que les hommes du même âge. Il semblerait cependant qu'avec le temps, les comportements masculins et féminins se rapprochent. En effet, alors que la courbe-période 2008 est moins élevée qu'en 1987 chez les hommes, elle prend de l'importance chez les femmes.

L'âge semble également influencer le nombre de déplacements et les distances parcourues : ces variables sont à leur intensité maximale pendant la période active de l'individu et décroissent avec l'âge.

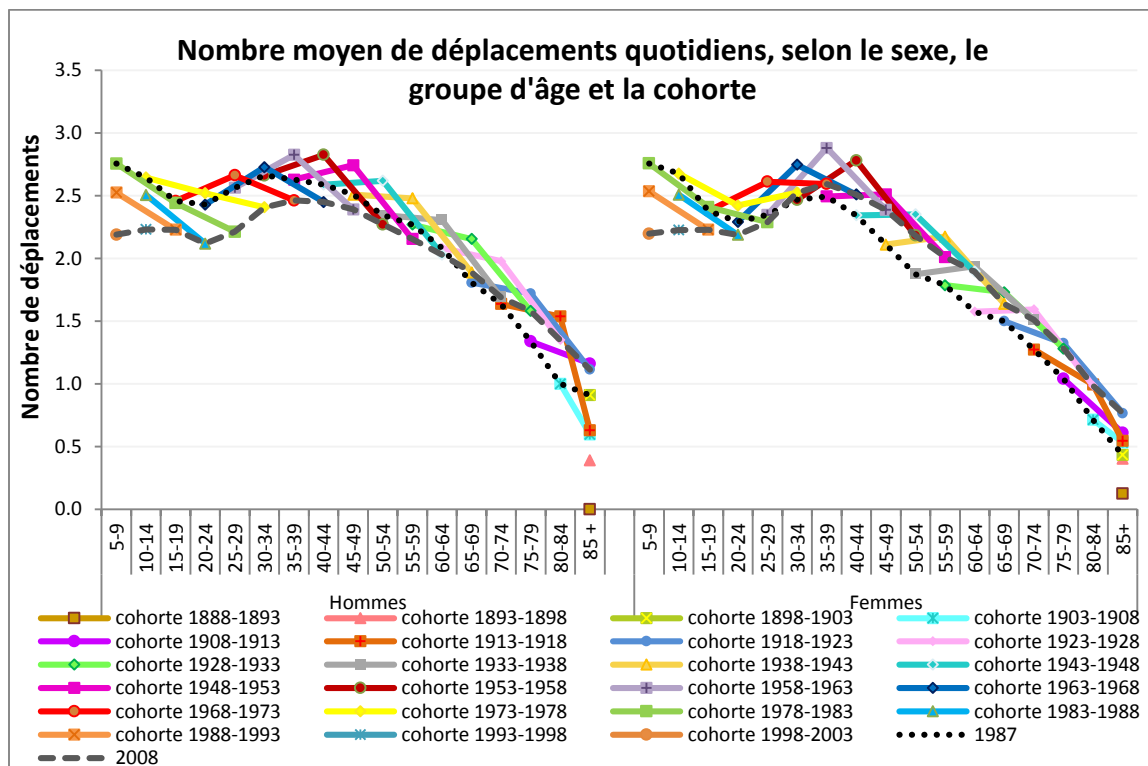


Figure 38. Nombre moyen de déplacements quotidiens, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

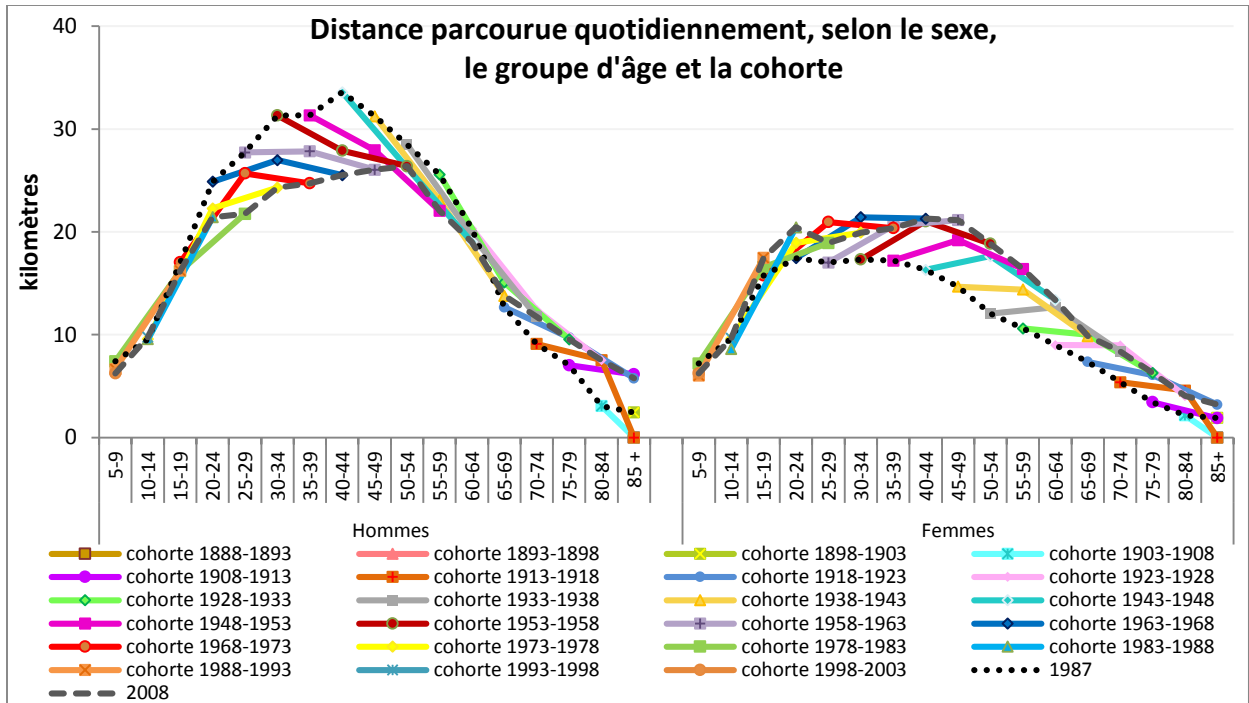


Figure 39. Distance parcourue quotidiennement, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

Déplacements et distances en auto-conducteur et auto-passager

Le sexe semble avoir un effet sur la mobilité quotidienne en auto-conducteur, les femmes effectuant moins de déplacements par ce mode que les hommes.

Les courbes-cohortes masculines et féminines suivent la même évolution globale selon l'âge, soit une augmentation du nombre de déplacements AC à partir de l'âge légal de conduite, puis une diminution à travers les âges de la vie active.

Un effet de période viendrait réduire l'écart entre les comportements masculin et féminin en 2008 comparativement à 1987.

L'effet lié au sexe sur la mobilité en auto-conducteur semble encore plus persistant lorsqu'on étudie l'appartenance des individus au type de motorisation partagée.

On peut supposer (Figure 41 et Figure 42) que la voiture négociée dans le ménage est donc plus souvent conduite par l'homme que par la femme, et plus longtemps. Encore une fois, cette différence de comportements selon le sexe, suivrait une tendance qui les mettrait à niveau équivalent à travers les périodes.

Déoulant de l'analyse de la mobilité en auto-conducteur, on peut s'attendre à ce que ce soit la femme qui soit plus souvent passagère que l'homme.

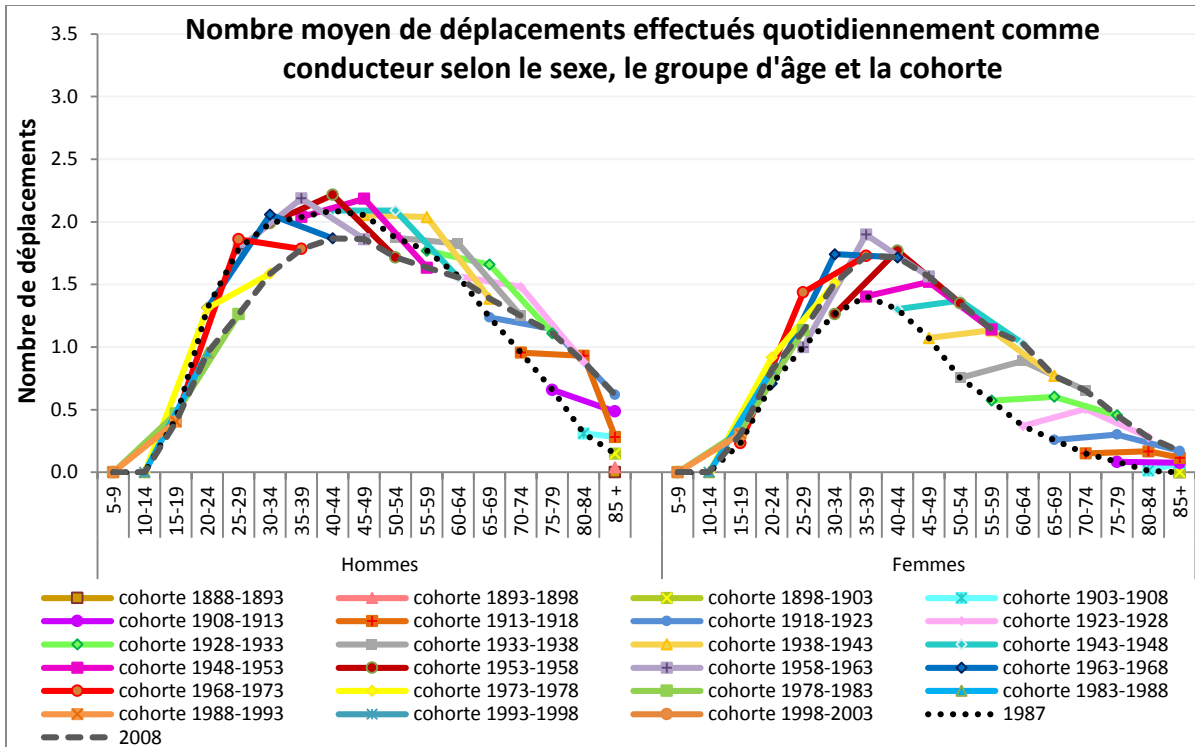


Figure 40. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme conducteur selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

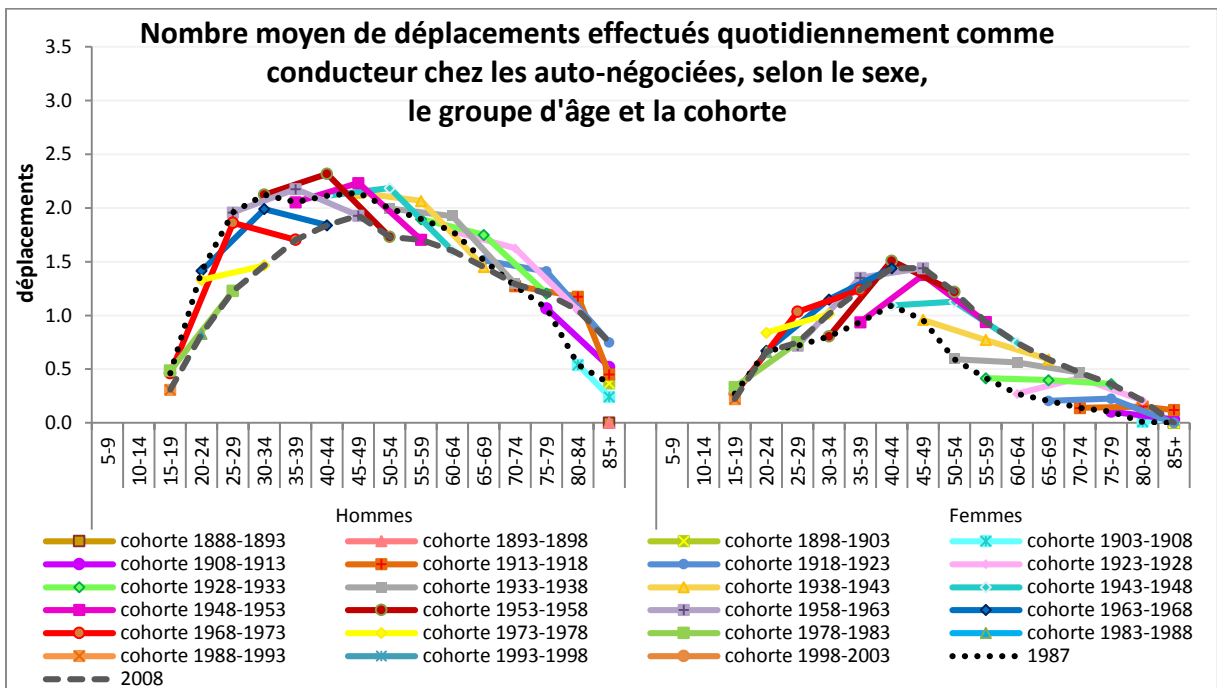


Figure 41. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme conducteur chez les auto-négociées, selon le sexe,

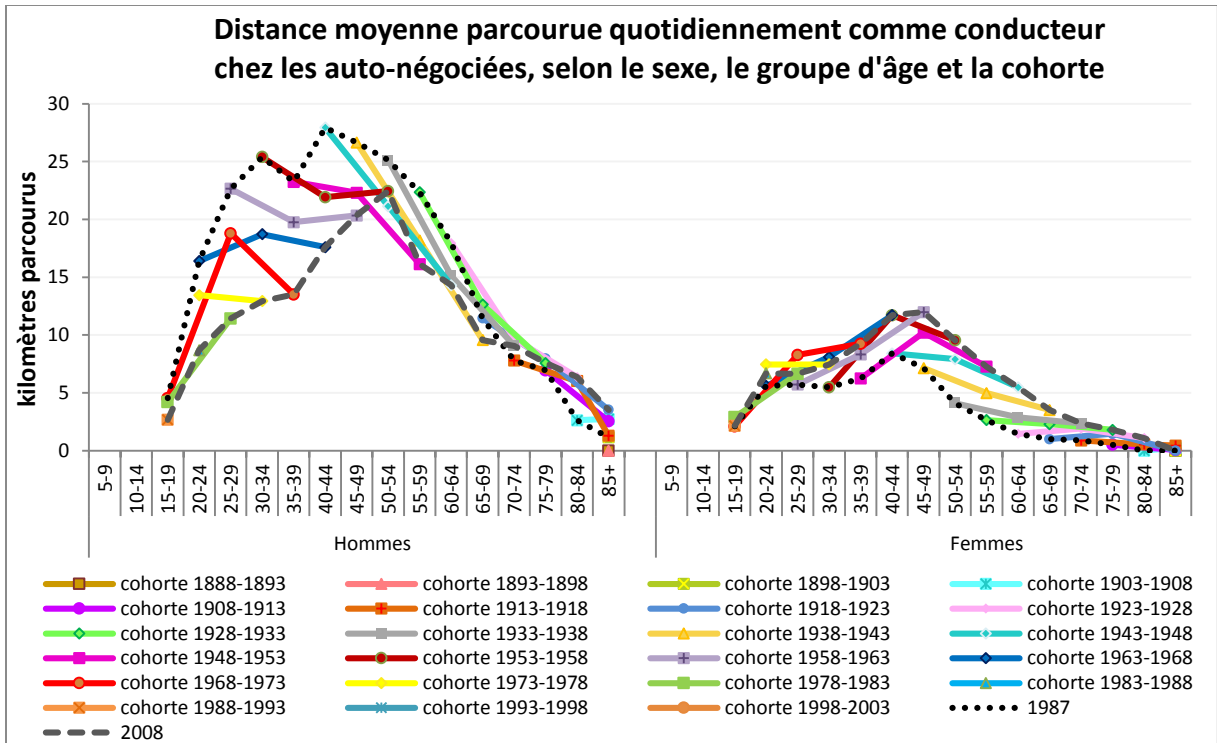


Figure 42. Distance moyenne parcourue quotidiennement comme conducteur chez les auto-négociés, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

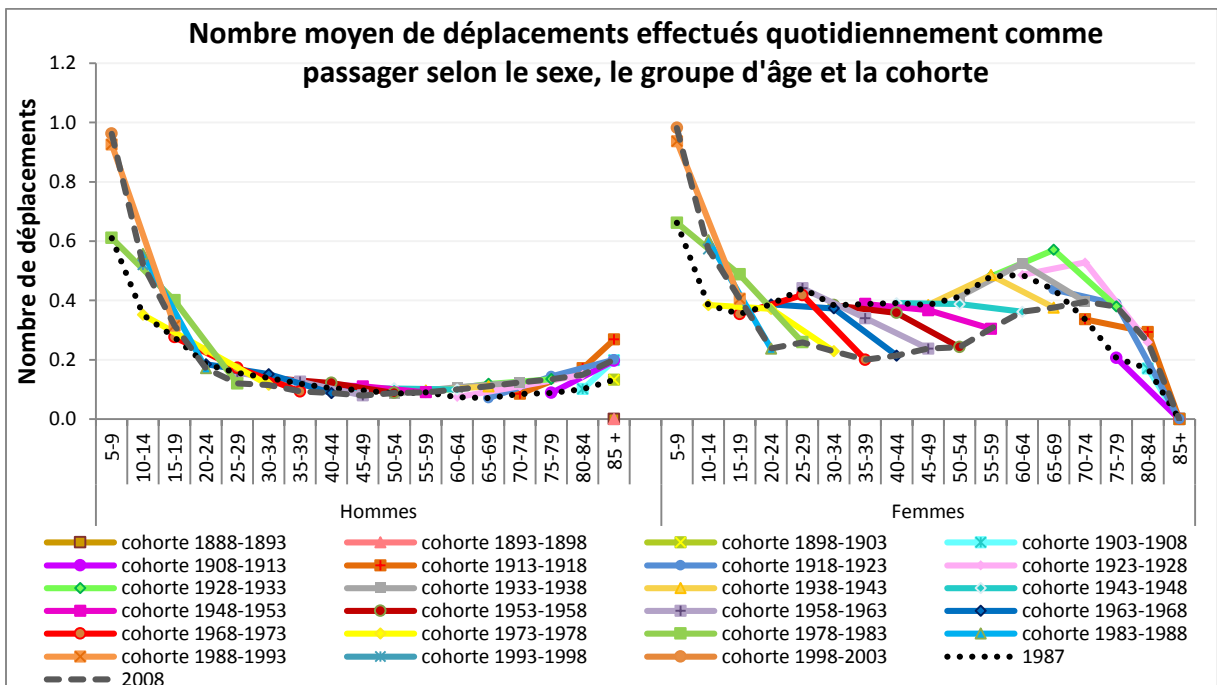


Figure 43. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme passager selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

Alors qu'en général, la femme a une mobilité comme passagère plus importante que celle de l'homme, l'effet lié au sexe est amplifié parmi les individus auto-négociés lorsqu'on

observe leur taux de mobilité quotidien et leur distance parcourue quotidiennement comme passagère.

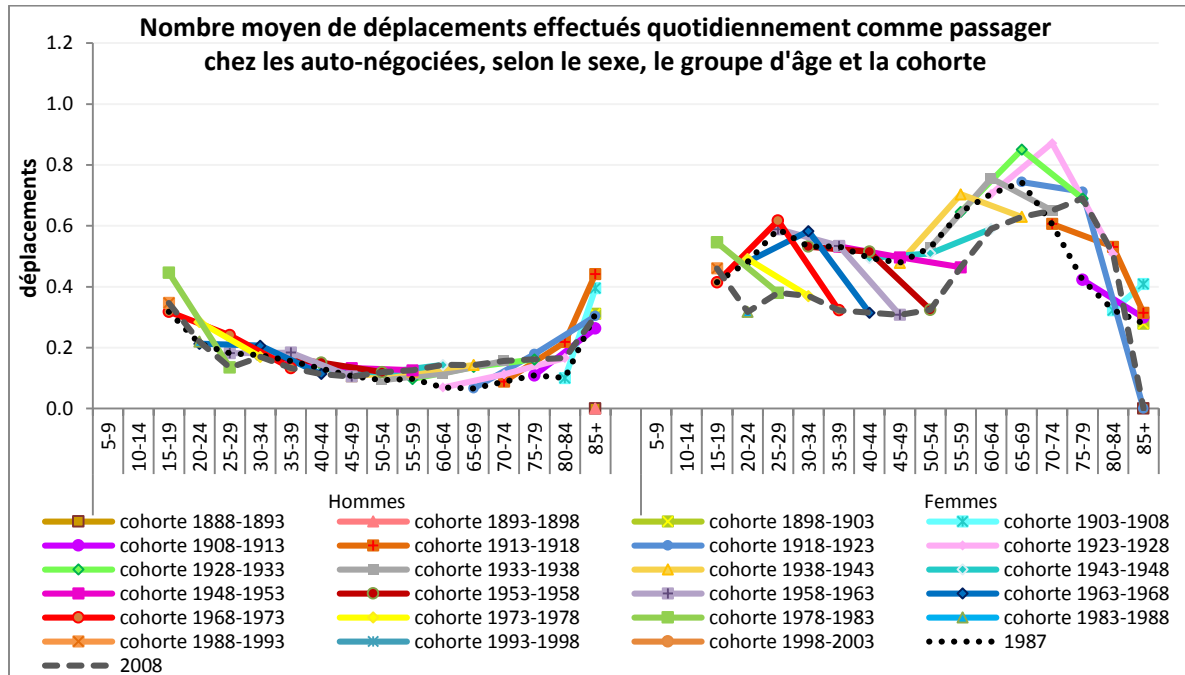


Figure 44. Nombre moyen de déplacements effectués quotidiennement comme passager chez les auto-négociées, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

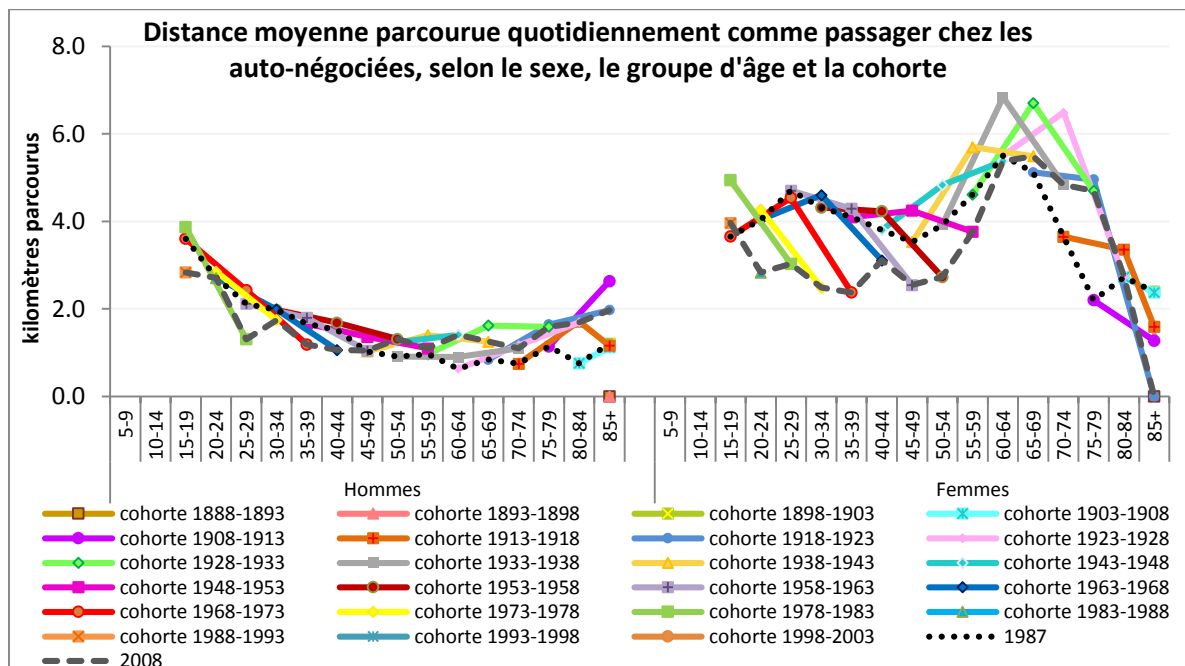


Figure 45. Distance moyenne parcourue quotidiennement comme passager chez les auto-négociées, selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

4.4.6 Schéma du modèle

Deux types de modèles pourront être expérimentés dans le cadre de ce projet de recherche.

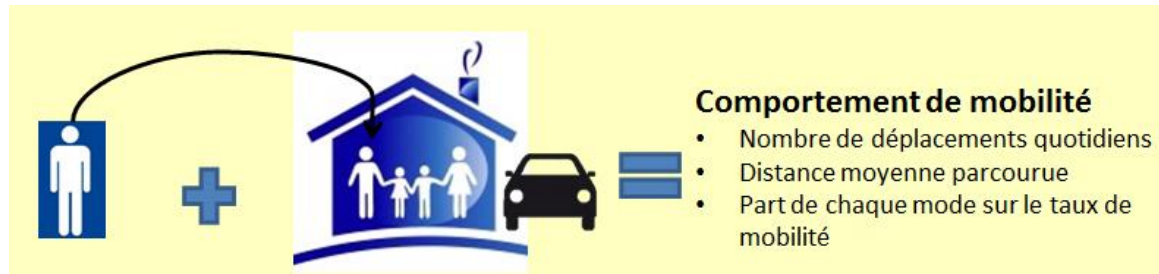


Figure 46. Schéma du modèle APCC explicatif

Un modèle explicatif Âge-Période-Cohorte-Caractéristiques permettrait d'expliquer la mobilité actuelle, et la part des différentes variables, démographiques, de même que celles liées au ménage et au voisinage.

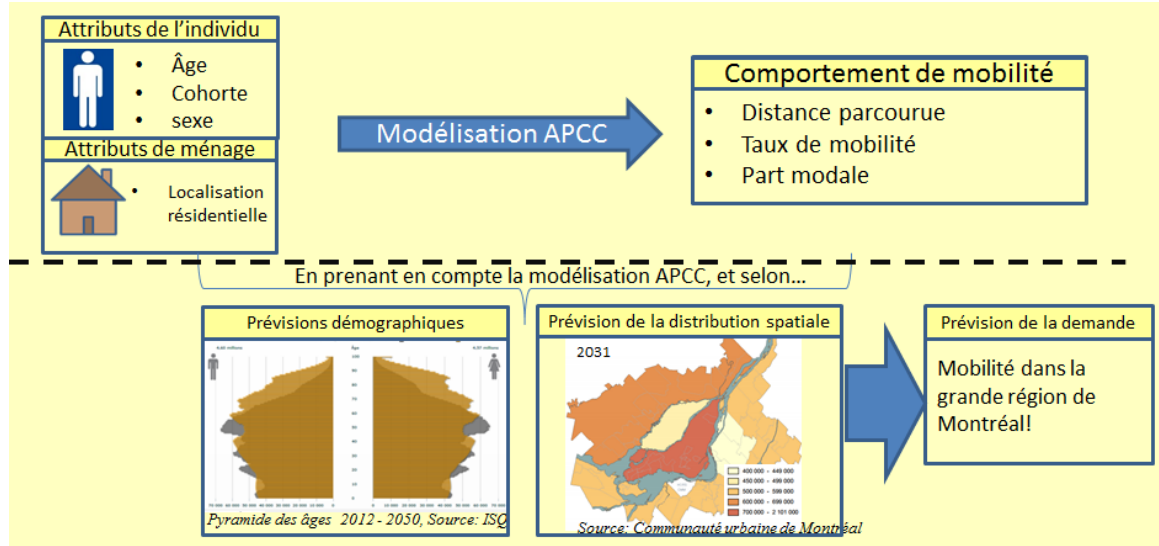


Figure 47. Schéma du modèle APCC prédictif

Un modèle prédictif fonctionne généralement avec moins d'attributs puisque ceux-ci devront être aussi prédits afin d'alimenter le modèle. Étant donné que les prévisions démographiques concernent essentiellement la structure par âge et sexe de la population et sa distribution spatiale, le modèle prédictif tentera de s'appuyer principalement sur ces variables.

Dans les deux cas, la modélisation APC permet de trouver des coefficients pour chacune des variables et d'évaluer leur pertinence (selon la valeur des indices Z et P) à être intégrées dans le modèle final. Ils sont utilisés afin de reconstituer la variable dépendante ou pour calculer des probabilités (Pépin, 2012). Le modèle prédictif utilisera les variables démographiques et leur coefficient, tandis que le modèle explicatif sera amélioré par l'ajout de variables explicatives et leur coefficient associé.

La formulation du modèle dans le cas d'une variable dépendante discrète est la suivante:

$$P(Y) = \frac{1}{(1 + \exp^{-(\text{constante} + \text{age}_x + \text{période}_x + \text{cohorte}_x)})} \quad (\text{Pépin, 2012})$$

La formulation dans le cas d'une variable continue est comme suit:

$$Y = \exp(\text{constante} + \text{age}_x + \text{période}_x + \text{cohorte}_x) \quad (\text{Pépin, 2012})$$

Différenciation des effets bruts APC

Les coefficients calculés par la méthode APC permettent de visualiser les effets de chaque variable démographique de façon isolée. Il est ainsi possible de valider la vraisemblance des résultats du modèle grâce à l'analyse descriptive préalablement réalisée.

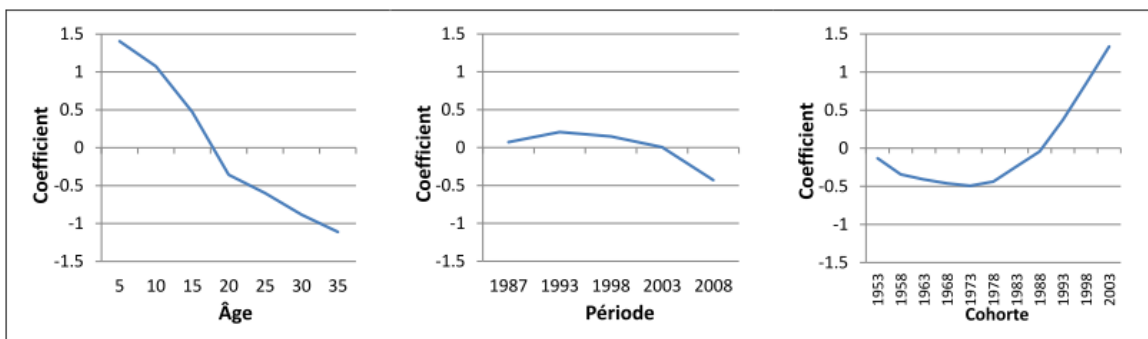


Figure 48. Illustration des effets APC pour la modélisation du mode auto-passager (Pépin, 2012)

Variables et indicateurs à intégrer dans le modèle

Le projet de recherche est présentement dans la phase de modélisation, il n'y a donc pas de résultats disponibles pour le moment. Les variables dépendantes et indépendantes qui sont testées sont néanmoins présentées ci-dessous.

Variables dépendantes
Taux de mobilité
Déplacements auto-conducteur <ul style="list-style-type: none"> • nombre de déplacements • distance parcourue
Déplacements auto-passager <ul style="list-style-type: none"> • nombre de déplacements • distance parcourue
Distance parcourue quotidienne
Distance moyenne de déplacement

Variables indépendantes	
Démographiques	Âge
	Cohorte
	Période
	Sexe
Motorisation	Selon le type <ul style="list-style-type: none"> • Sans-auto • Auto-négocié • Auto-suffisant
Ménage	Taille (nombre d'individus)
	Présence d'enfants
	Nombre d'enfants
	Nombre d'enfants d'âge scolaire-primaire
	Nombre d'enfants d'âge scolaire-secondaire
Localisation	Grande région de résidence <ul style="list-style-type: none"> • Laval • Montréal • Rive-Sud • Rive-Nord
	Sm100 (unique et regroupement)
	Densité
	Distance au centre-ville
Offre de transport (dans le secteur municipal)	Longueur du réseau
	Accès à une autoroute
	Passages-arrêts d'autobus
	Distance du métro



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

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

***** LE TEXTE QUI SUIT EST UN EXTRAIT DU DOCUMENT NON FINAL DE MÉMOIRE DE CHRISTINE THÉBERGE-BARETTE – des éléments pourront être différents dans le mémoire final *****

4.5.1 Introduction

Le développement résidentiel est un secteur en expansion dans la grande région de Montréal. En effet, en 2011 et 2012, plus de 43 000 unités de logement ont été mises en chantier dans la région métropolitaine de recensement (SCHL, 2013). Plusieurs questions sont amenées par ce développement massif :

- Qui ira s'installer dans ces habitations?
- Quels comportements de mobilité seront adoptés?
- Quelle est la quantité de déplacements qui seront générés par ces nouveaux développements?
- Quels seront les impacts sur les réseaux de transport collectif, routier et sur les stationnements (nombre d'espace requis et utilisation)?
- Quels sont les outils disponibles pour pouvoir répondre à ces questions?

L'outil présentement utilisé à la Ville de Montréal pour évaluer les impacts de ces nouvelles constructions en termes de déplacements est le manuel *Trip Generation* publié par l'*Institute of Transportation Engineers* (ITE). Ce manuel permet d'estimer, à partir de modèles de régression simples, le nombre de déplacements (automobile) produits et attirés par différents types d'utilisation du sol (aéroport, industrie, entrepôt, unité d'habitation, hôtel, etc.). Les données entrantes proviennent de différentes études et opérations de collecte réalisées selon un guide. Il s'agit principalement de données de comptages automatiques ou manuels, classifiés. Par ailleurs, il faut mentionner qu'estimer une quantité de déplacements générés par un générateur n'est qu'une phase dans l'estimation des impacts globaux de ce dernier. Les déplacements générés n'ont pas qu'une incidence locale : il faut ensuite s'intéresser à leur structure spatio-temporelle (d'où proviennent-ils et où se destinent-ils, à quelle heure sont-ils effectués, quelle est la structure de la chaîne de déplacement à laquelle ils appartiennent). La question du choix modal demeure aussi fondamentale et implique qu'on s'intéresse à l'ensemble des alternatives disponibles. Ces questions sont fondamentales mais ne sont pas abordées dans ce projet de recherche qui s'intéresse spécifiquement à la génération de déplacements en liens avec la construction d'unités d'habitation.

Dans le *Trip Generation Handbook*, guide qui indique dans quels cas les données du *Trip Generation* sont applicables, il est précisé que cette méthode n'est pas valable en milieu urbain, en présence de service régulier de transport collectif et où il y a une grande mixité du territoire (ITE, 2004). Ce sont tous des qualificatifs qui décrivent assez bien le centre-ville de Montréal et sa périphérie, voire d'autres secteurs de la région.



De plus, le *Trip Generation* a souvent été critiqué et la méthode a la réputation de surestimer les déplacements en automobile, ce qui peut amener un surdimensionnement des routes pour un quartier. En effet, selon une récente étude faite par Adam Millard-Ball, la méthode du *Trip Generation* surestimerait de 56% les déplacements en automobile comparativement à ce qui est observé lors des enquêtes régionales aux États-Unis (Millard-Ball, 2013).

Lorsqu'il y a un projet résidentiel, plusieurs données sont connues avant même que le projet soit mis en chantier, par exemple, l'emplacement du projet, le nombre d'unités prévus, le prix qui sera demandé pour chacune d'elles, le nombre de chambres dans ces unités, le nombre d'espaces de stationnement, etc. Les données qui ne peuvent pas être connues à l'avance sont les types de ménage qui iront s'y installer, le nombre d'enfants qui seront présents et le nombre de déplacements que feront ces personnes.

4.5.2 Objectifs du projet de recherche et données

Le **but de ce projet** de recherche est **de développer un modèle de génération de déplacements en fonction des variables habituellement connues** lors de l'élaboration d'un nouveau projet résidentiel, c'est-à-dire, les **caractéristiques des nouvelles habitations** et les **caractéristiques de leur voisinage**.

Les données de l'enquête Origine-Destination 2008 (tout le territoire) sont utilisées pour conduire l'analyse descriptive et assurer le développement des modèles. Les données du recensement canadien de 2006 sont aussi utilisées afin de construire des variables de voisinage.

Afin que ce modèle soit valable, il faut poser deux hypothèses: il existe une corrélation entre le type de ménage et le comportement de mobilité et il existe une corrélation entre le type de ménage et le type de logement habité. La Figure 49 propose un schéma illustrant la relation entre les différentes variables.

L'analyse descriptive a été faite afin de pouvoir confirmer ou infirmer ces hypothèses.

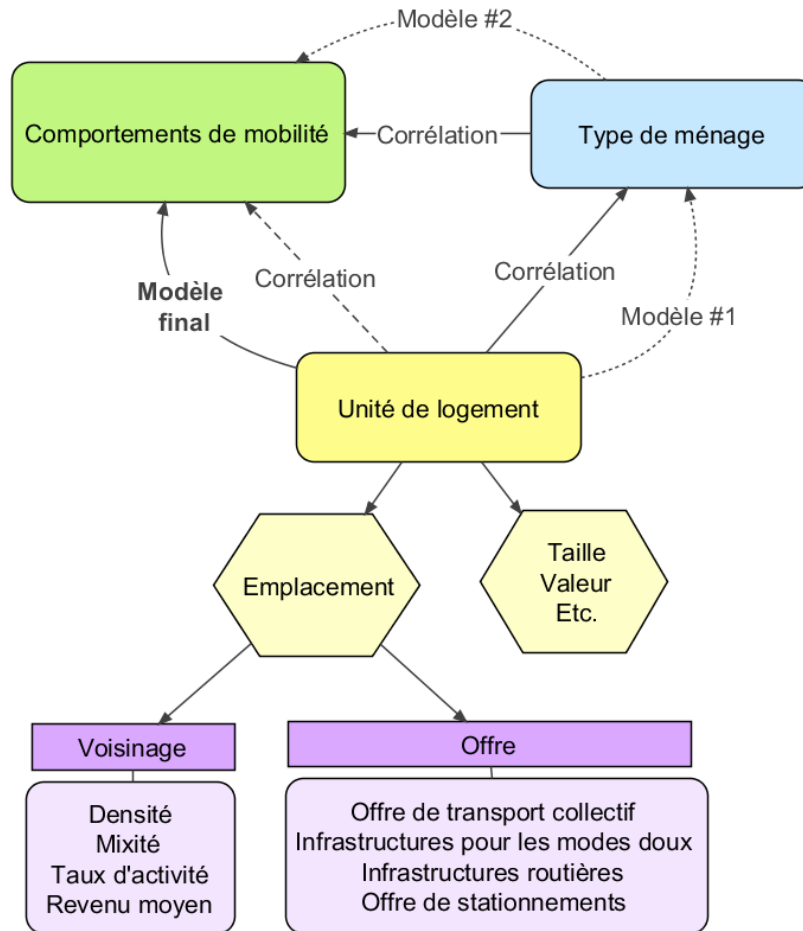


Figure 49 : Relation entre les variables

4.5.3 Analyse descriptive

Les résultats les plus intéressants de l'analyse descriptive seront ici présentés.

Le type de ménage en relation avec la mobilité

Par quoi est influencée la mobilité des ménages? L'analyse suivante tentera de répondre à cette question en tentant d'identifier les variables qui ont une influence sur le nombre de déplacements générés par un ménage. Cette partie de l'analyse sera concentrée sur l'influence qu'ont les caractéristiques du ménage, des personnes le composant et des propriétés de son voisinage sur la mobilité.

Taille du ménage

Logiquement, la taille du ménage est l'une des principales variables susceptibles de décrire la mobilité de ce ménage. La Figure 50 illustre la relation entre la taille du ménage et le nombre moyen de déplacements par ménage et par personne.

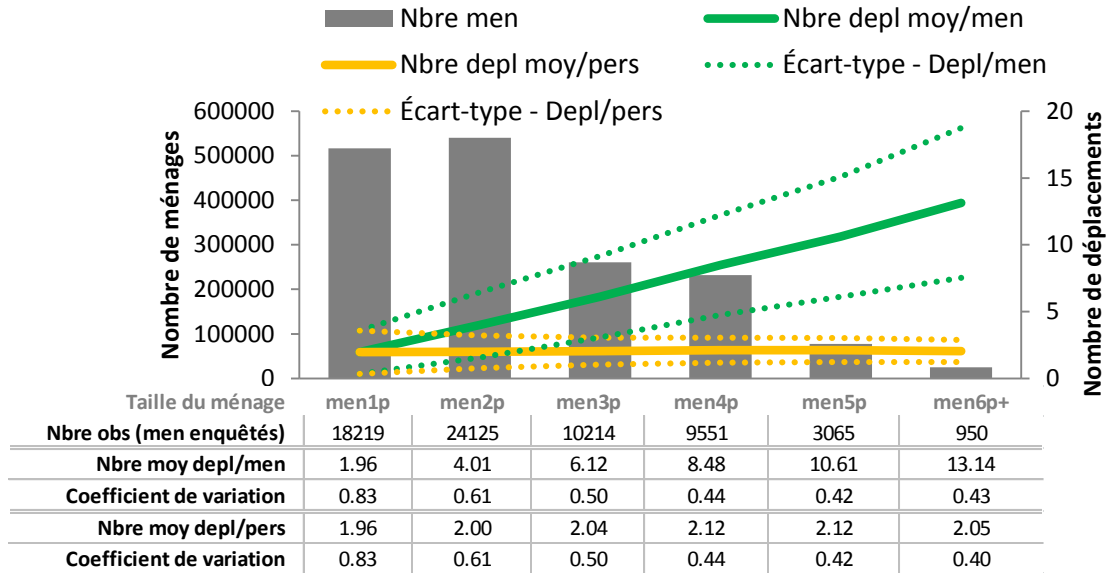


Figure 50 : Relation entre la taille du ménage et le nombre de déplacements

Il est possible de constater que plus la taille du ménage augmente, plus le nombre moyen de déplacements par ménage augmente et ce, de façon assez linéaire. L'écart-type augmente aussi en fonction de la taille du ménage, mais le coefficient de variation⁷ diminue en fonction de la taille du ménage. Par contre, le nombre moyen de déplacements par personne dans les ménages est plutôt stable, peu importe la taille de celui-ci.

Les écarts à la moyenne peuvent être visualisés avec les graphiques suivants (voir Figure 51).

⁷Ratio entre l'écart-type et la moyenne

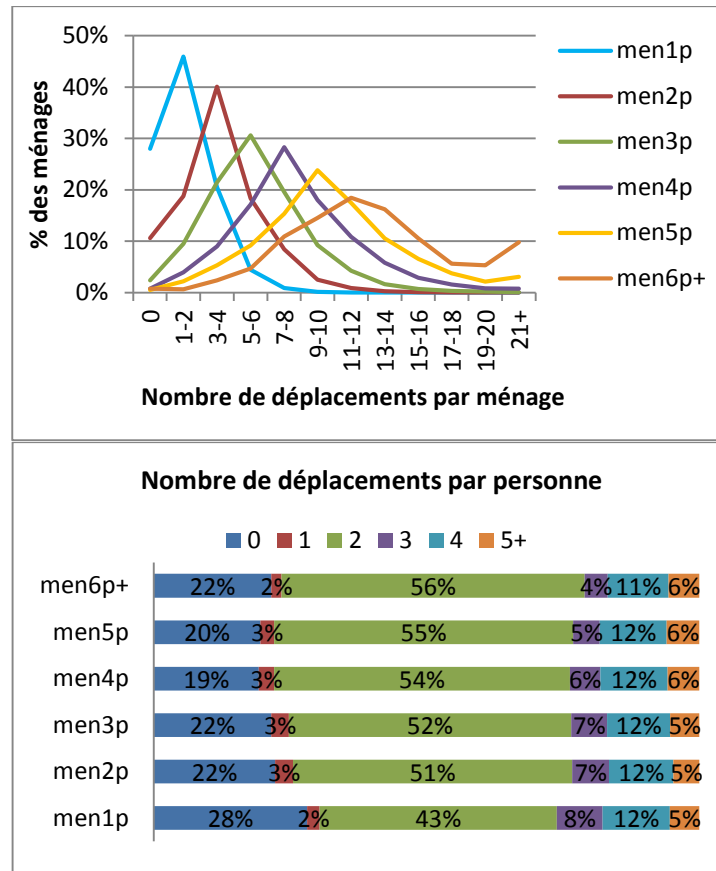


Figure 51 : Visualisation des écarts (taille du ménage vs mobilité)

Les ménages à une personne sont ceux qui sont les plus stables. En effet, 45 % de ceux-ci font soit 1 ou 2 déplacements par jour. Plus la taille du ménage augmente, plus l'étendue du nombre de déplacements augmente, ce qui correspond aussi à l'augmentation de l'écart-type en fonction de la taille du ménage.

La taille du ménage semble donc bien expliquer la mobilité à un certain niveau. Par contre, les écarts-types étant relativement élevés, il reste donc une partie de la mobilité qui n'est pas expliquée par la taille du ménage.

Analyse des écarts : les ménages à une personne: l'âge

Près de 55 % des gens de 75 ans et plus et près de 40 % de personnes entre 65-74 ans ne font aucun déplacement dans un jour moyen de semaine (voir Figure 52). Pour les autres groupes d'âge de plus de 15 ans, entre 50 et 60 % des personnes font un ou deux déplacements. L'âge des personnes composant le ménage semble donc avoir un impact sur la mobilité du ménage. Selon ces conclusions, le nombre d'enfants, la composition du ménage en termes de nombre d'adultes et d'enfants, ainsi que le sexe et l'âge des personnes seront des aspects étudiés ci-dessous.

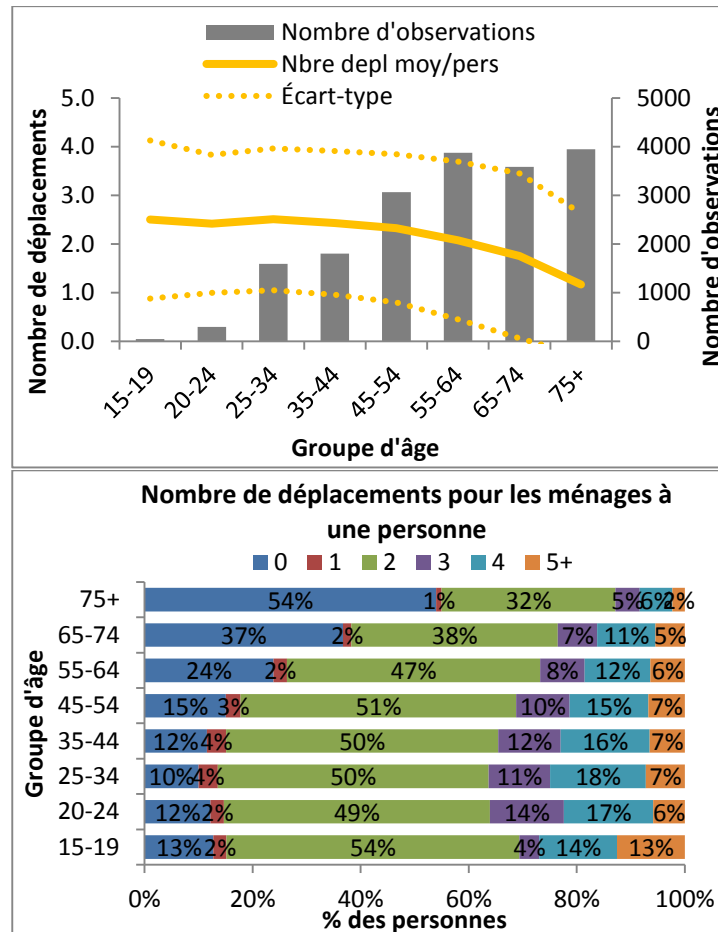


Figure 52 : Effets de l'âge sur la mobilité des ménages à une personne

4.5.4 Le nombre d'enfants

Est-ce que pour une même taille de ménage, le fait que le ménage soit composé en partie d'enfants influence la mobilité? La mobilité des ménages est clairement affectée par le nombre d'enfants dans le ménage en plus de sa taille. La Figure 53 présente les taux de mobilité des ménages de différentes tailles mais selon différentes compositions. En effet, pour une taille de ménage de quatre personnes par exemple, la mobilité varie d'un peu moins de 8 déplacements (4 adultes, sans enfant) à près de 10 déplacements (1 adulte, 3 enfants).

La même observation est faite pour les déplacements des personnes (Figure 54) et des adultes (Figure 55). Effectivement, il est clair, dans ces graphiques, que pour deux ménages à taille égale, celui comportant des enfants influence la mobilité des personnes à la hausse par rapport à celui qui ne comporte pas d'enfant. Les femmes vivant seules se déplacent moins que les hommes vivant seuls, mais lorsqu'il y a des enfants, les femmes ont tendance à se déplacer davantage que les hommes.

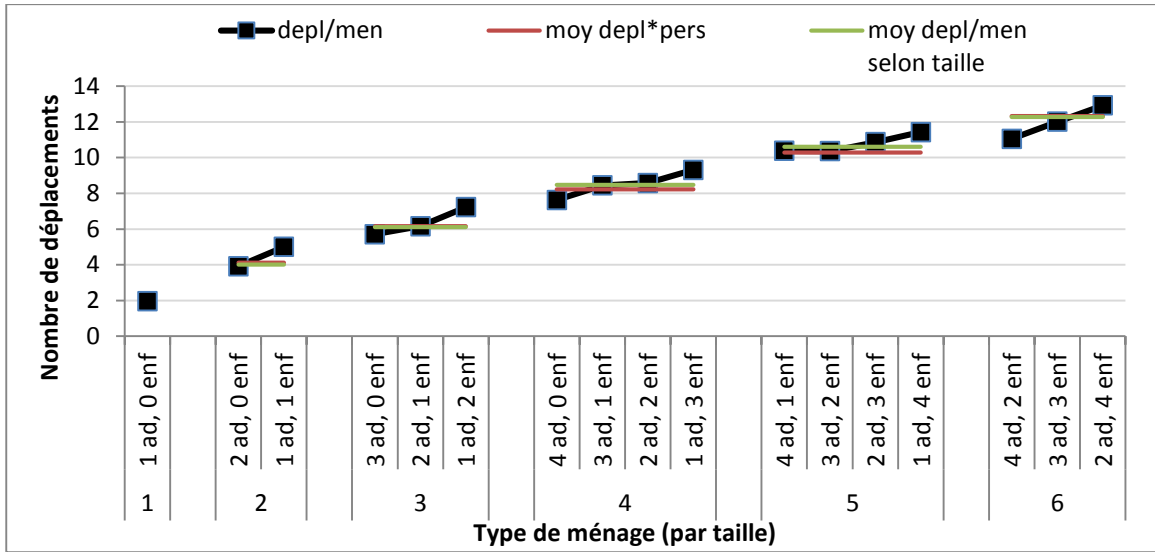


Figure 53 : Effets des enfants sur la mobilité des ménages

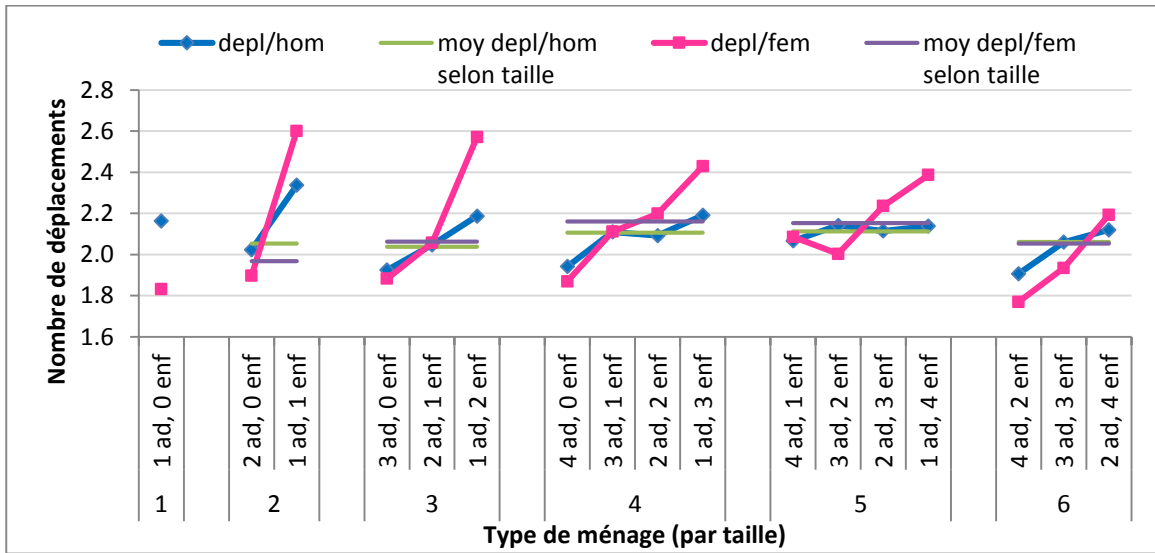


Figure 54 : Effets des enfants sur la mobilité des personnes

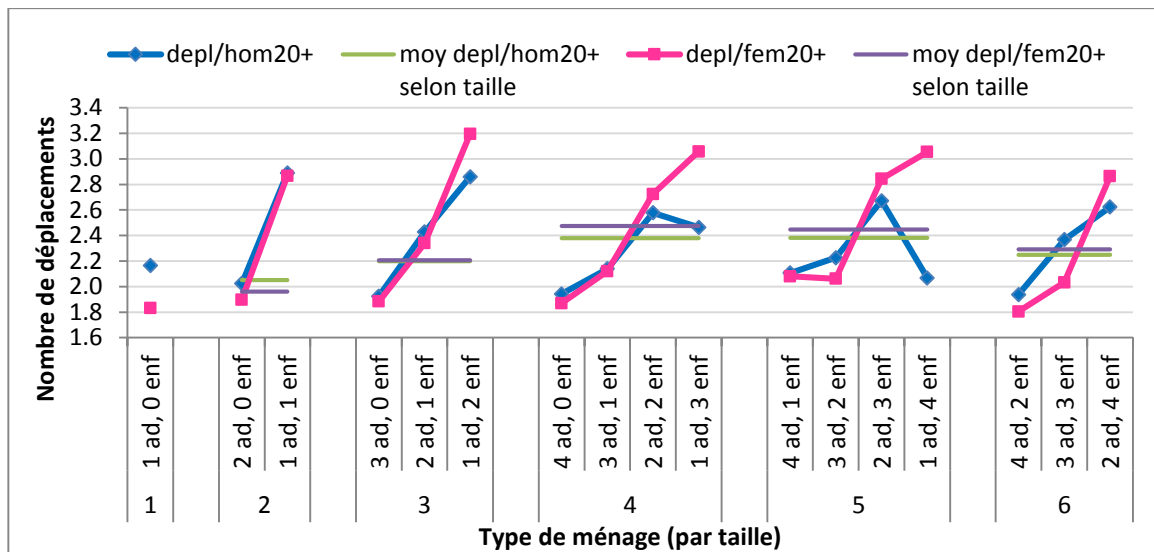


Figure 55 : Effets des enfants sur la mobilité des adultes

La figure suivante (Figure 56) regroupe les effets du type de ménage (par nombre d'adultes et d'enfants), de l'âge et du sexe de la personne sur sa mobilité. Il est possible de remarquer que les femmes dans un ménage sans enfant se déplacent également ou un peu moins que les hommes, mais dans un ménage avec enfant(s), tout dépendant de leur âge, les femmes se déplacent davantage que les hommes.

Aussi, de façon générale, le comportement de mobilité des personnes dans les ménages sans enfants a tendance à être le même entre les différentes tailles, c'est-à-dire une mobilité qui diminue avec l'âge des personnes. Lorsqu'il y a des enfants dans le ménage, la mobilité des personnes augmente. À taille égale, généralement, plus il y a d'enfants dans le ménage, plus la mobilité des personnes augmente.

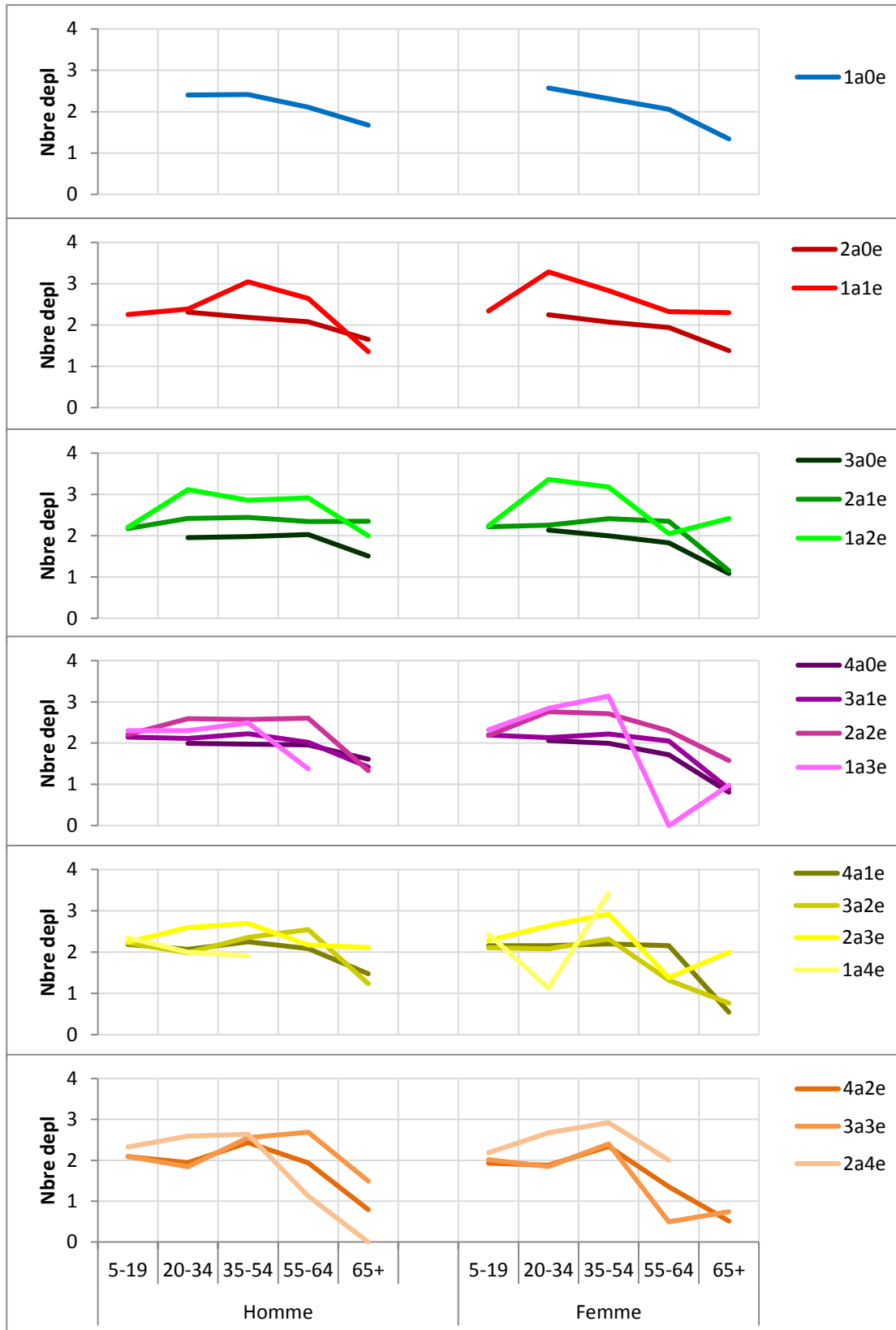


Figure 56 : Nombre de déplacements par personne par type de ménage, sexe et âge

4.5.5 L'âge des personnes

L'âge des personnes semble être un élément majeur qui influence la mobilité des ménages. Pour bien analyser son effet, l'influence de l'âge sera observée à l'échelle de la personne. Dans l'enquête Origine-Destination, les déplacements des enfants de 0 à 3 ans ne sont jamais recueillis. Dans les cas des enfants de 4 ans, les déplacements sont recueillis pour les enfants fréquentant la maternelle à temps plein; l'information étant partielle, il n'est pas possible de tirer des conclusions sur la mobilité de ce groupe d'âge. Entre 5 et 54 ans, les personnes font en moyenne un peu plus de deux déplacements quotidiennement. Par la suite, le nombre de déplacements moyen diminue progressivement avec l'âge. Le groupe d'âge qui tire la moyenne générale vers le bas est celui des 55 ans et plus (voir Figure 57). Cette tendance générale se reproduit globalement pour toutes les tailles de ménage (Figure 58).

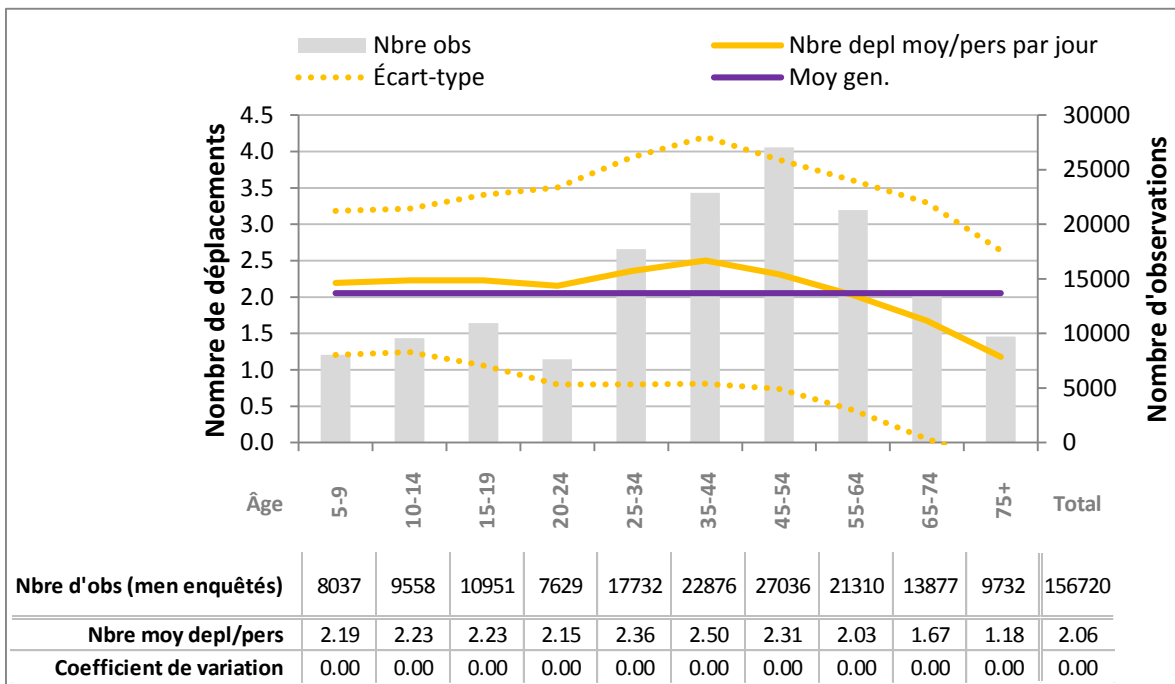


Figure 57 : Relation entre l'âge des personnes et le nombre de déplacements

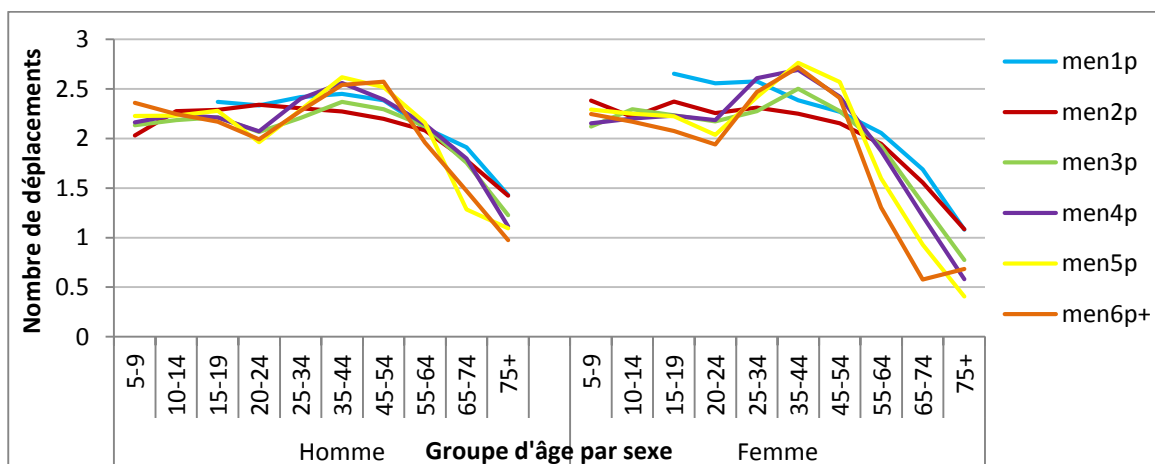


Figure 58 : Mobilité des personnes selon l'âge, le sexe et la taille du ménage

4.5.6 Les variables de voisinage en relation avec la mobilité

La composition du voisinage sera maintenant analysée pour identifier si elle a un effet sur la mobilité. Les variables de voisinage sont en majorité déterminées à partir des caractéristiques moyennes des aires de diffusion (AD), une segmentation spatiale propre au recensement. Le territoire de la grande région de Montréal compte 71232 AD (recensement 2006).

La densité de logements (AD)

La densité de logements est testée ici, puisqu'elle caractérise le voisinage, sans assumer que le territoire est parfaitement concentrique, comme le ferait la variable de distance par rapport au centre-ville par exemple.

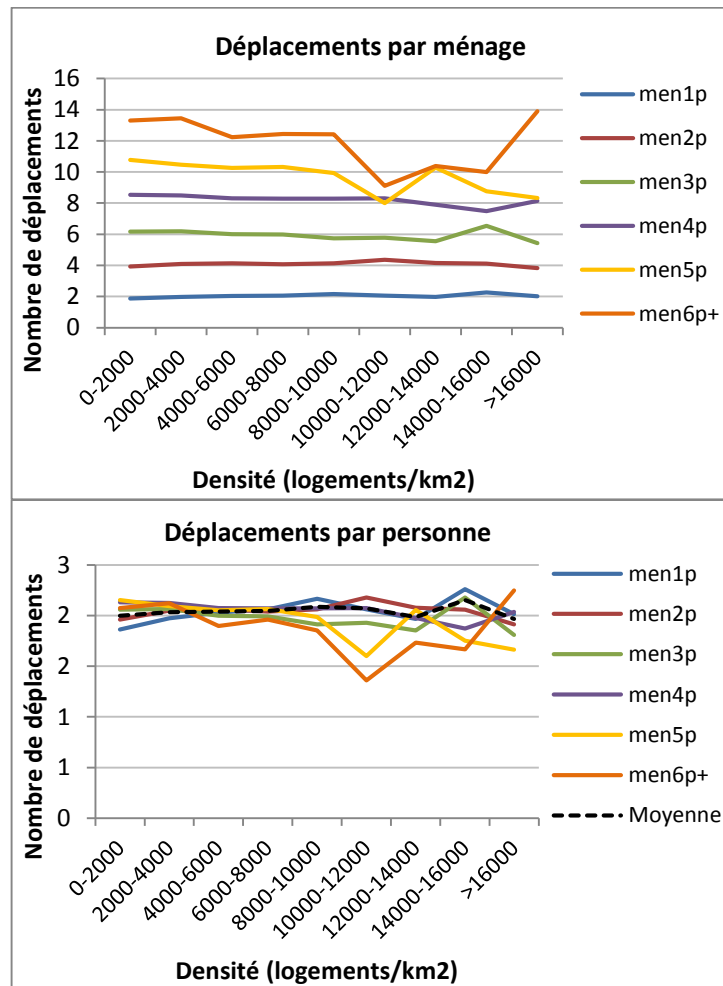


Figure 59 : Effets de la densité sur la mobilité

La densité ne semble pas avoir un impact sur la mobilité des ménages de 4 personnes et moins, puisqu'à taille égale, les ménages ne font pas plus ou moins de déplacements lorsque la densité de logement augmente. Les fluctuations observées pour les ménages de 5 personnes et plus ne permettent pas de conclure et sont liées à la faible taille de l'échantillon (ménages de grande taille dans des zones très denses). La même observation est faite pour la mobilité des personnes.

Les passages-arrêts de transport collectif (Rayon de 500m)

Les voisinages sont aussi caractérisés par une offre de transport. Les passages-arrêts donnent une indication du service de transport collectif disponible dans un rayon de 500m autour du domicile du ménage. Les analyses suivantes ont été faites avec les passages-arrêts qui ont été calculés selon la méthode décrite par Éric Martel-Poliquin dans son mémoire (2012). Comme la densité de logements, les passages-arrêts ne semblent pas être corrélés avec la mobilité des ménages ou des personnes (Figure 60 et Figure 61). Quoique le niveau de service de transport collectif n'influence pas le nombre de déplacements global, il est attendu qu'il influence les résultats de répartition modale (à venir).

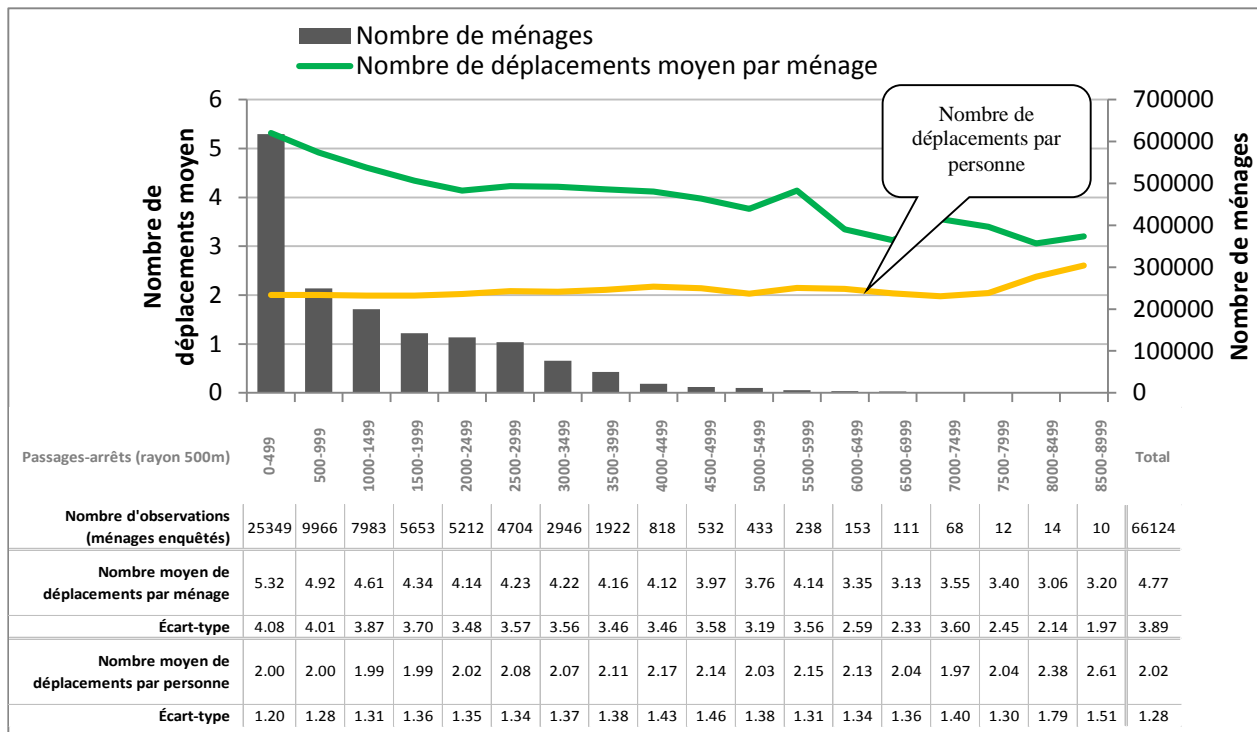


Figure 60 : Relation entre niveau de service de transport collectif et le nombre de déplacements par ménage

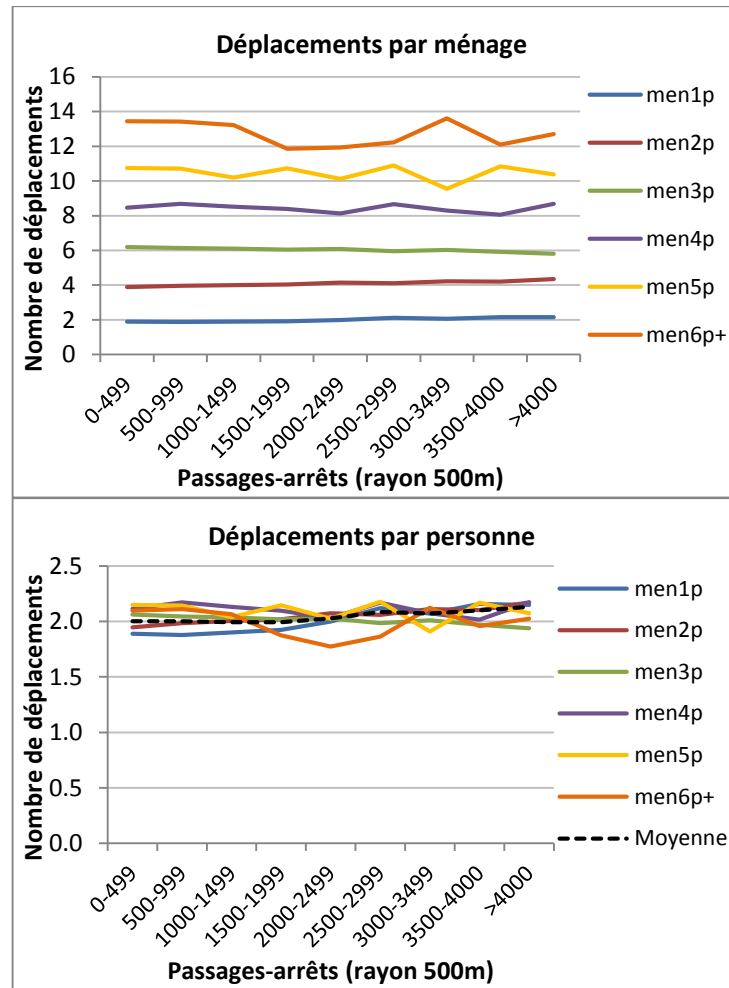


Figure 61 : Effets du niveau de service de transport collectif sur la mobilité

Le revenu moyen du voisinage (AD)

Le revenu moyen des ménages du voisinage a un effet sur la mobilité des ménages et des personnes. En effet, globalement, pour une même taille de ménage, plus le revenu moyen est élevé, plus le nombre de déplacements augmente (voir Figure 62). Le taux de mobilité des personnes ne semble cependant pas affecté.

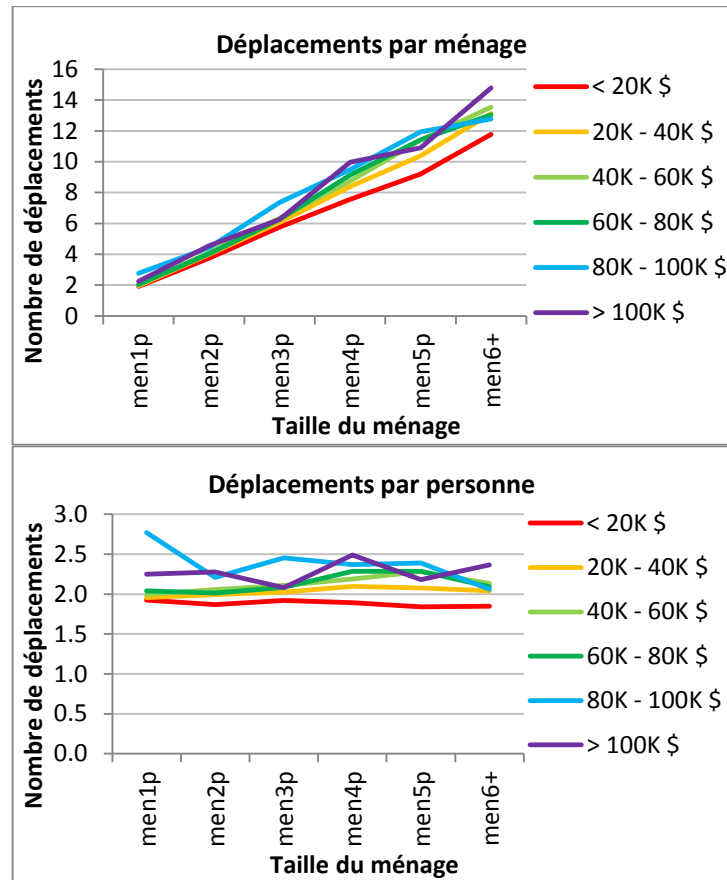


Figure 62 : Effets du niveau de revenu du voisinage sur la mobilité

Le taux d'activité (AD)

Le taux d'activité du voisinage est une propriété de l'aire de diffusion (AD) disponible dans le recensement. Il s'agit du nombre de personnes actives (occupées et chômeuses) par rapport à la population totale de 15 ans et plus dans l'AD.

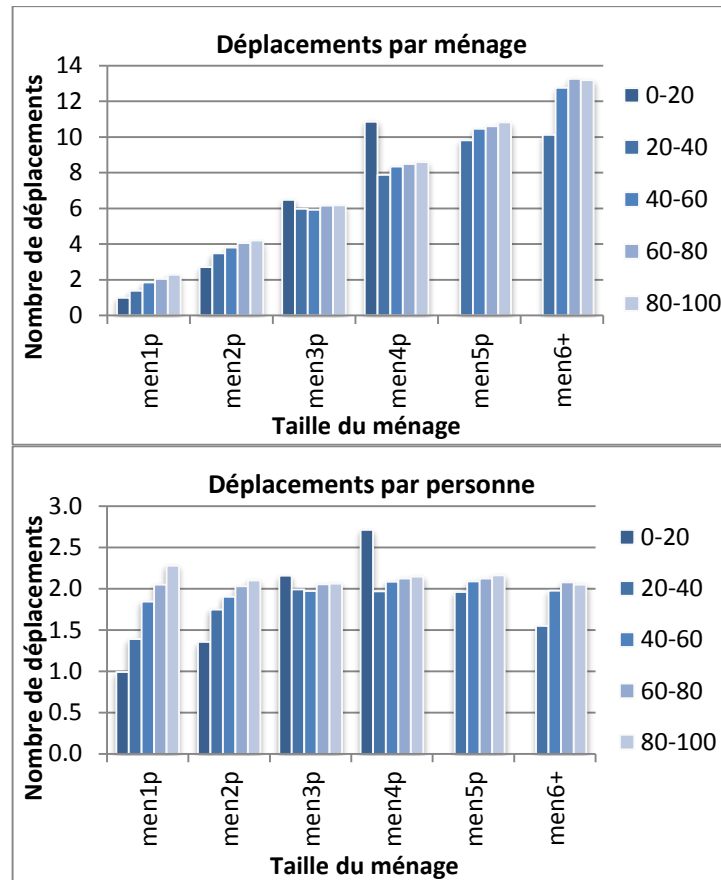


Figure 63 : Effets du taux d’activité du voisinage sur la mobilité

Le taux d’activité semble avoir un effet sur la mobilité des ménages, surtout pour les ménages de deux personnes et moins et pour ceux de cinq personnes et plus. En effet, globalement pour ces types de ménages, pour une même taille, plus le taux d’activité du voisinage est grand, plus la mobilité moyenne augmente.

Le taux de chômage (AD)

Le taux de chômage semble avoir une légère influence sur la mobilité des ménages et des personnes. En effet, sauf pour un niveau de chômage de 30 % et plus, les ménages composés de plusieurs personnes font moins de déplacements lorsque que le taux de chômage augmente.

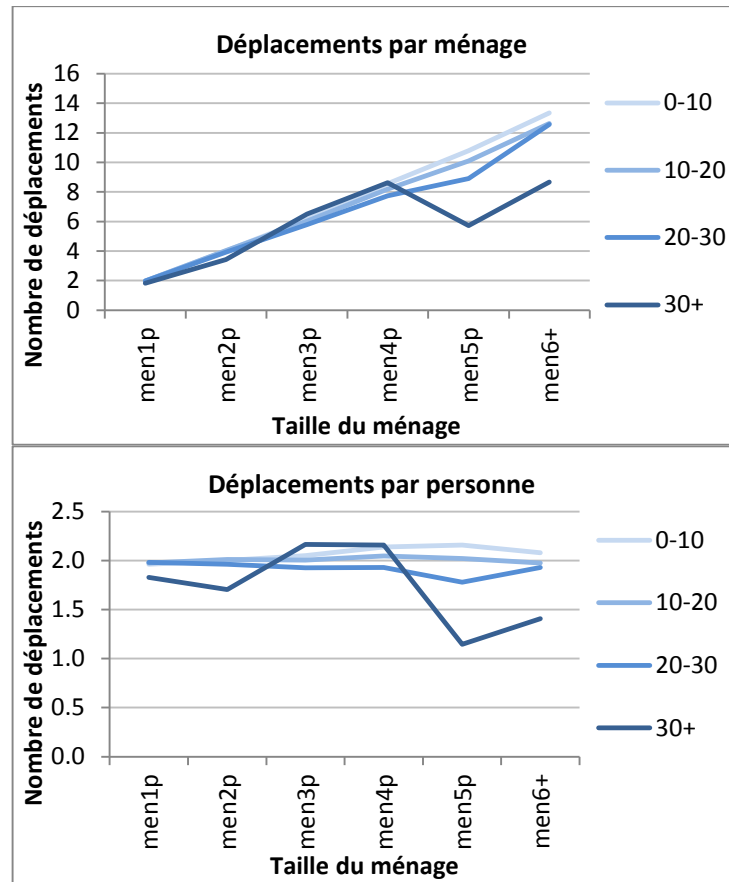


Figure 64 : Effets du taux de chômage du voisinage sur la mobilité

4.5.7 La composition du voisinage (âge des personnes)

Pour parvenir à inclure l'effet du nombre d'enfants sur la mobilité, les variables de composition du voisinage (représenté par l'AD) sont testées afin de voir si un voisinage composé de beaucoup d'enfants ou de personnes âgées, par exemple, vient influencer la mobilité des ménages. Les graphiques ci-dessous présentent les résultats pour les groupes d'âge semblant étant les plus corrélés avec les indicateurs de mobilité. Dans ces figures, les dégradés de couleurs sont liés aux valeurs de composition du voisinage alors que l'axe y présente le nombre de déplacements par ménage ou par personne.

% de personnes de 10 à 19 ans

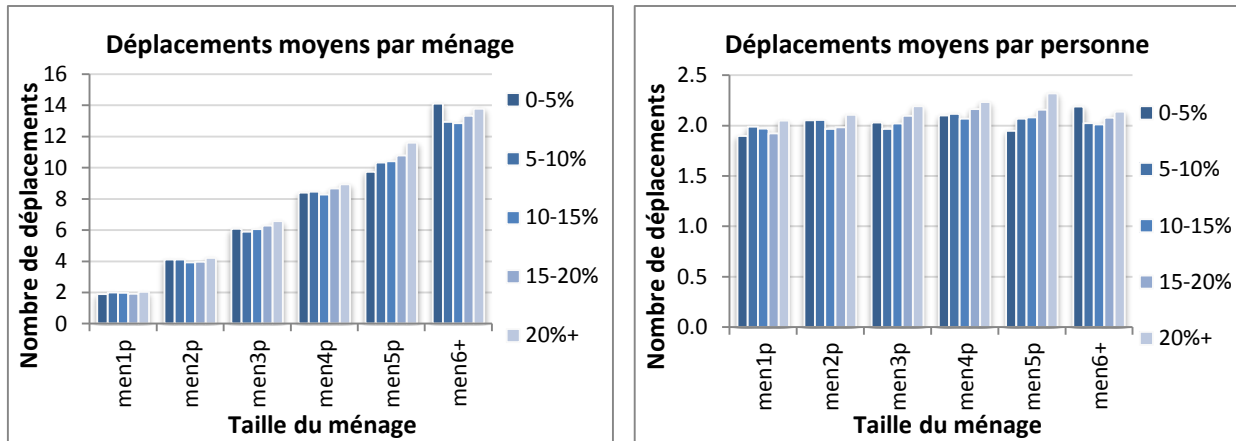


Figure 65 : Effets du % de personnes de 10 à 19 ans sur la mobilité

% de personnes de 20 à 34 ans

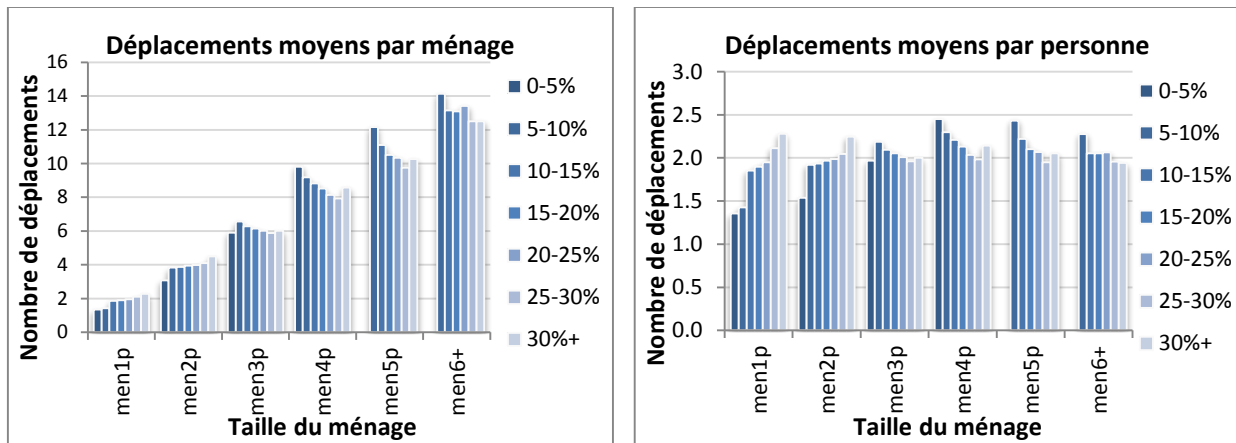


Figure 66 : Effets du % de personnes de 20 à 34 ans sur la mobilité

Les effets sur la mobilité ne sont pas toujours les mêmes selon la taille du ménage. En effet, pour le % des personnes de 20 à 34 ans, pour les ménages à 2 personnes et moins, l'effet de la variable est positif, c'est-à-dire que plus il y a des personnes de 20 à 34 ans, plus le nombre de déplacements augmente. Par contre, pour les ménages de 3 personnes et plus, l'effet semble contraire.

% des personnes de 65 ans et plus

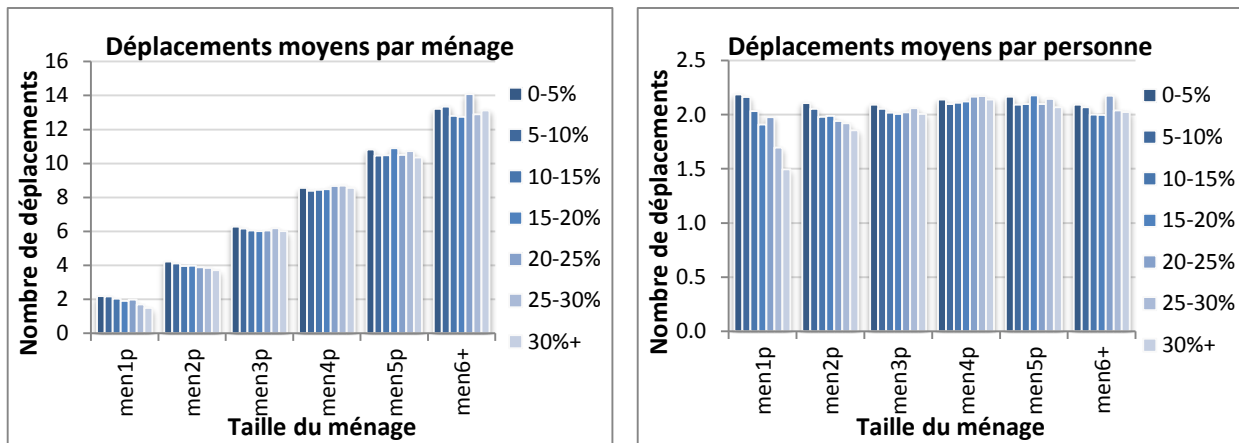


Figure 67 : Effets du % de personnes de 65 ans et plus sur la mobilité

L'effet du % des personnes de 65 ans et plus est surtout visible pour les ménages à une et deux personnes.

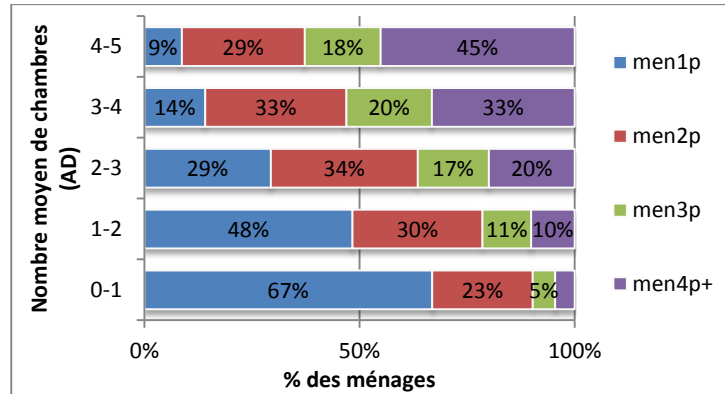
4.5.8 Le type de ménage en relation avec le type de logement

Comme les données disponibles pour les propriétés de logement sont seulement les données de recensement (données agrégées), il est difficile d'illustrer clairement la relation entre le type de ménage et le type de logement. Une désagrégation des données va être tentée en utilisant les données du registre foncier, couplées avec les données de l'Enquête Origine-Destination.

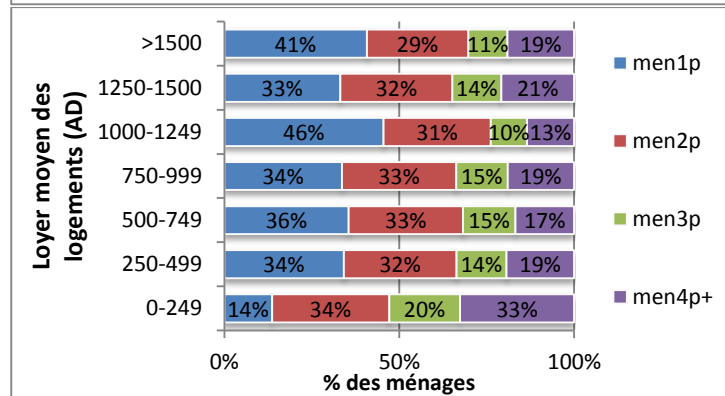
Analyse à partir des données agrégées des propriétés du logement

Voici quelques relations intéressantes entre la taille du ménage et les propriétés moyennes du logement selon l'aire de diffusion du recensement (AD).

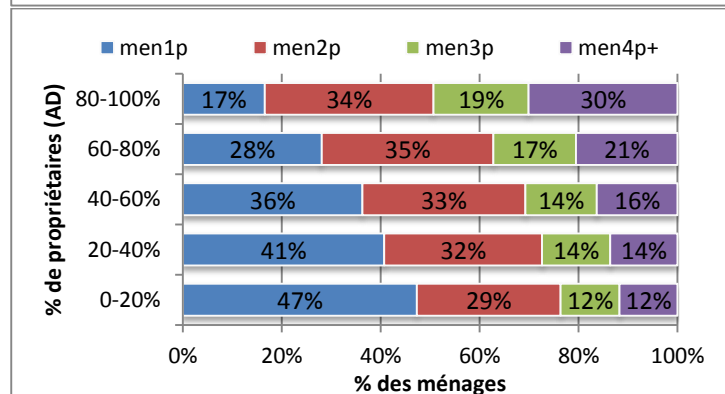
Le nombre moyen de chambres



Loyer moyen (unités de logement en location, \$/mois)



% de propriétaires



% de maisons individuelles

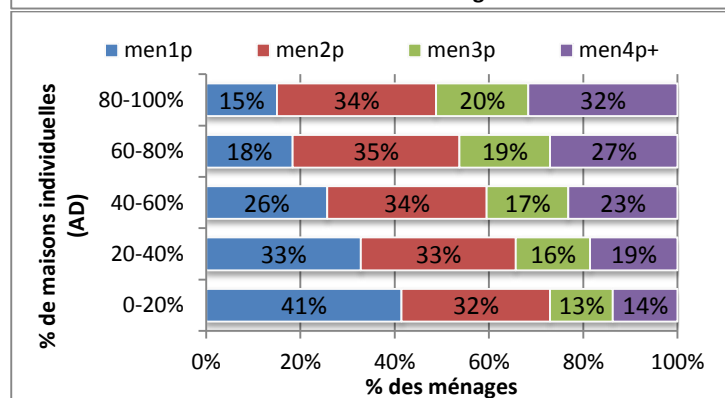


Figure 68 : Relations entre le type de ménage et le type de logement

Pour plusieurs propriétés moyennes de logement, il existe une relation avec la taille du ménage. Par exemple, pour un faible nombre moyen de chambres, il y a présence de beaucoup plus de

ménages à une personne que des autres types de ménage. Les ménages à deux personnes sont ceux pour qui la relation avec les propriétés de logement est très faible et peut-être même inexistante. En effet, pour chacune des propriétés de logement, le % des ménages à deux personnes est plutôt stable, autour de 30 %.

4.5.9 Modélisation

Suite aux résultats de l'analyse descriptive, un premier modèle est élaboré. En fait, pour arriver à la génération de déplacements, deux modèles sont nécessaires : le premier qui prévoit la répartition probable par type de ménage selon les nouveaux logements et leur voisinage et le deuxième qui prévoit le nombre de déplacements qui seront générés pour chacun des types de ménages selon des variables de voisinage. Voici un schéma décrivant les différentes étapes.

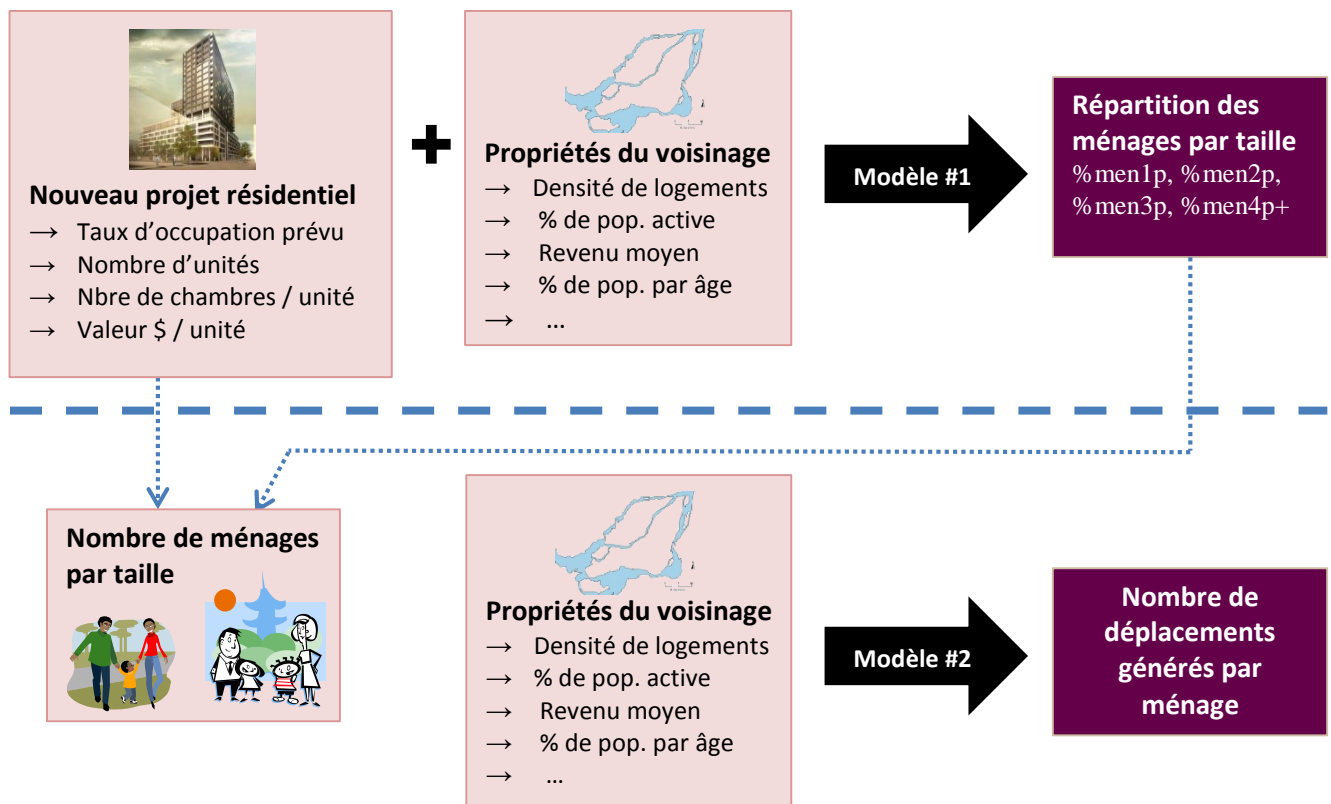


Figure 69 : Schéma décrivant les étapes de la modélisation

Modèle #1

Le modèle #1 prend comme variables dépendantes les données connues du futur développement résidentiel ainsi que les propriétés du voisinage associées à son emplacement. Le modèle qui est présentement testé est de type régression multivariée puisqu'il comporte plusieurs variables dépendantes (% de ménages à une personne, à deux personnes...). Ce type de modèle est en fait composé de régressions linéaires multiples pour chacune des variables dépendantes, mais en considérant un lien entre elles. En effet, ici, il faut que la somme des variables dépendantes soit de 100 %. Puisque les régressions sont linéaires, il arrive parfois que pour assurer la somme des variables dépendantes à 100 %, l'une ou plusieurs d'entre elles se voient affecter une valeur négative. Pour remédier à cette situation qui n'a pas de sens, un ajustement proportionnel de ces valeurs est fait pour que toutes les répartitions soient de valeur supérieure ou égale à zéro.

Modèle #2

Comme il a été observé lors de l'analyse descriptive, la taille du ménage expliquait tout de même bien le nombre de déplacements générés par celui-ci. Il a aussi été vu que la présence d'enfants a une influence sur les déplacements des ménages. Puisque les données de recensement ne permettent pas de catégoriser les ménages de façon satisfaisante en type par rapport au nombre d'enfants et d'adultes, la catégorisation par taille a été choisie. Puisque la relation du nombre de déplacements en fonction de la taille du ménage est linéaire, une régression linéaire multiple a été choisie ici pour le modèle #2. Le modèle prend comme variables dépendantes la taille du ménage et les propriétés du voisinage.

4.5.10 Répartition modale

Éventuellement, les déplacements devront être répartis par mode. Deux stratégies seront alors testées. La première consiste à répartir les déplacements par mode à la fin, à partir du nombre total de déplacements. La deuxième stratégie est d'inclure d'autres variables de voisinage tel le niveau de service de transport collectif et la densité d'intersections par exemple au niveau du deuxième modèle. La sortie de ce modèle serait alors un nombre de déplacements par mode directement.

4.5.11 Premiers résultats : Test avec le Lowney sur ville

Le Lowney sur ville est un des nombreux projets de condominium dans le quartier de Griffintown (Prével Urbain, 2013). En regardant sur leur site internet, il est possible de recueillir plusieurs informations et de faire des hypothèses pour celles manquantes. Il est certain que lors de l'analyse des impacts d'un tel projet, les données exactes sont préférables, mais il ne s'agit ici que d'un test. Selon ce qui a été observé, **le projet phase 1 est composé de :**

- 135 unités à 1 chambre
- 60 unités à 2 chambres
- Les prix varient entre 125 000\$ et 350 000\$ avant taxes
- Le projet est situé à l'intersection Ottawa et Shannon



Les données qui sont entrées au modèle #1 sont :

- Un nombre de chambre moyen de 1.31
- Une valeur moyenne de logement de 283 000\$ (en émettant des hypothèses sur le prix des unités selon la fourchette de prix affichée et en incluant les taxes)
- Un taux d'occupation supposé à 80%
- Selon l'emplacement du projet, les variables de voisinage de l'AD 24663313 sont considérées

Sorties du modèle #1 :

Résultats bruts :

- 59 % ménage 1 pers
- 37% ménage 2 pers
- 9% ménage 3 pers
- -5% ménage 4 pers+

Résultats ajustés :

- 56 % ménage 1 pers
- 36% ménage 2 pers
- 8% ménage 3 pers
- 0% ménage 4 pers+

Selon le taux d'occupation supposé, le nombre de ménages par taille peut alors être dérivé. Selon les variables de voisinage, les résultats obtenus à partir des régressions linéaires (modèle #2) sont :

- 2.4 dépl. / ménage 1 pers
- 4.8 dépl. / ménage 2 pers
- 7.2 dépl. / ménage 3 pers
- 9.6 dépl. / ménage 4 pers

Le nombre de déplacements quotidiens générés par ce bâtiment est donc estimé à **571**. Une comparaison peut être faite avec les données du *Trip Generation* (ITE, 2003) :

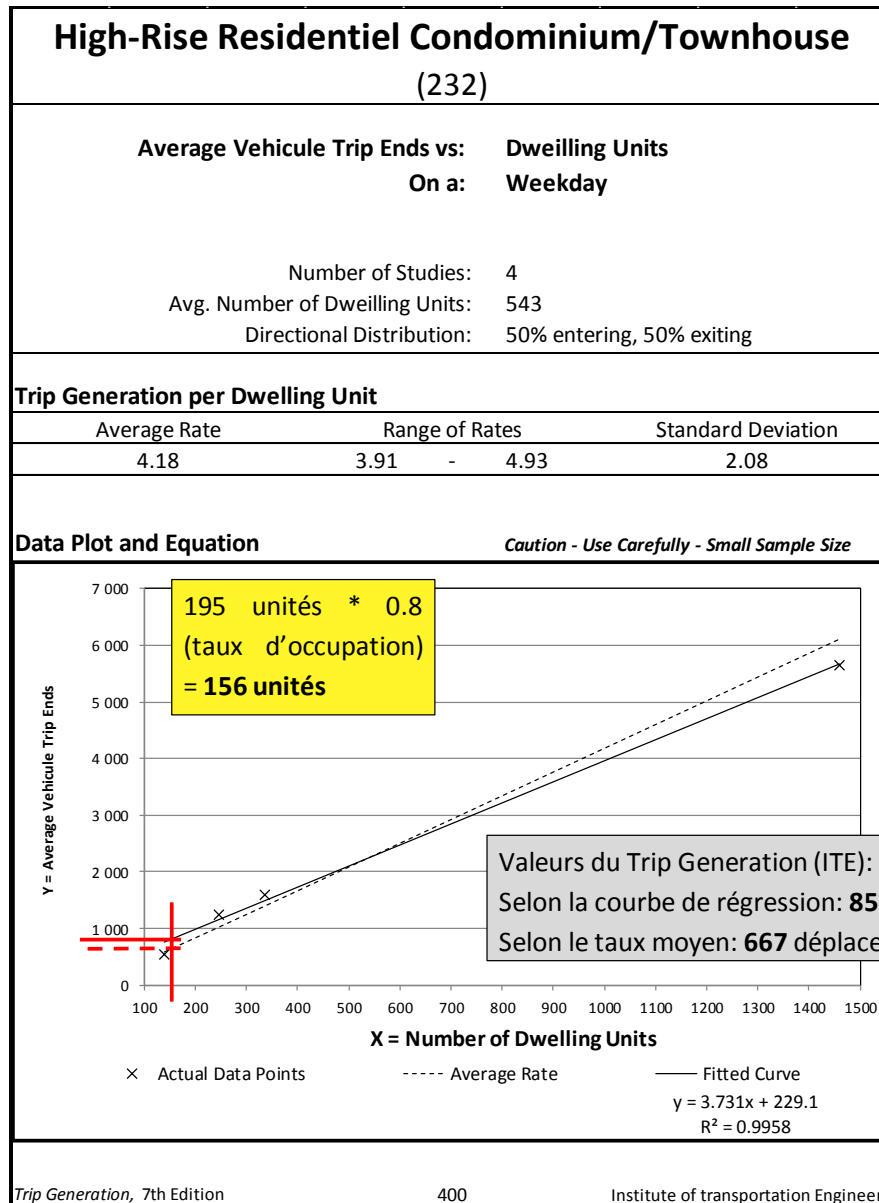


Figure 70 : Comparaison des résultats du modèle avec le Trip Generation (ITE)



4.5.12 Validation du modèle

Le modèle ne peut présentement pas être validé. En effet, pour pouvoir faire une validation, il faudrait procéder à une collecte de données auprès des résidents de nouveaux développements résidentiels récemment achevés.

4.5.13 Perspectives et conclusions

Puisque des données de validation sont requises pour assurer la validité du modèle, une procédure pourrait être mise en place à la Ville de Montréal pour exiger aux promoteurs de nouveaux développements résidentiels de fournir ces données une fois le projet complété et habité. En effet, les promoteurs pourraient avoir l'obligation de faire un court sondage auprès des nouveaux résidents au sujet de leurs caractéristiques sociodémographiques et de leurs comportements de mobilité.

Les résultats d'un tel modèle, s'il est validé, pourraient être très utiles. En effet, ils permettraient de mieux prévoir les impacts générés par la construction de nouvelles habitations et de planifier un ajustement de l'offre de transport par rapport à la demande grandissante. Avec un modèle qui répartit les déplacements par mode, les sphères d'intervention sont multiples : stationnements, services de transport collectif, infrastructures pour piétons et cyclistes, réseau routier, services d'autopartage et de vélopartage.



4.6 Interdépendance entre choix modal et chaînes de déplacement

- Étudiant : Gabriel Sicotte (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : amorce
- Financement : Chaire Mobilité

****** LE TEXTE QUI SUIT EST UN EXTRAIT DU DOCUMENT NON FINAL DE MÉMOIRE DE GABRIEL SICOTTE – des éléments pourront être différents dans le mémoire final ******

4.6.1 Introduction

Durant des années, la modélisation des déplacements s'est faite à partir de la Procédure Séquentielle Classique (PSC), mais celle-ci est critiquée en raison de sa simplicité qui ne représente pas tout à fait la complexité des comportements de mobilité. Aujourd'hui, de nouveaux modèles se basant sur les activités des personnes sont proposés. Ils ont l'avantage d'utiliser des données désagrégées et de permettre une analyse à partir d'un plus large éventail de variables. (Virginia Department of Transportation, 2009)

Parmi les différents éléments qui permettent de caractériser les habitudes de déplacements des individus, le mode de transport est l'un des plus importants pour la planification. Effectivement, le choix modal (choix auquel sont confrontées les personnes sur le mode à utiliser dans le cadre d'un déplacement entre deux points) affecte l'efficacité avec laquelle se font les déplacements dans la région métropolitaine (Ortuzar et Willumsen, 2011). Alors qu'en raison des contraintes de temps et de distance, les déplacements des individus tendent à se complexifier en combinant plusieurs activités au sein d'une même série de déplacements, plusieurs études démontrent l'importance de la relation entre le choix du mode de transport et ces chaînes de déplacements (Yun et *al.*, 2011). D'ailleurs, une recherche ayant testé différentes structures de modèles démontre que ce sont bien les chaînes de déplacements qui tendent à influencer le mode de transport et non le contraire (Ye et *al.* 2007).

Ce projet de recherche a pour but la conception d'un modèle de choix modal qui intègre de nouvelles variables en lien avec les chaînes de déplacements. Effectivement, ces variables sont pertinentes, car il a été démontré que les individus tendent à garder le même mode tout au long d'une chaîne, principalement si c'est un véhicule personnel (automobile, moto ou bicyclette). Une plus grande variabilité est observée au sein des chaînes incluant des déplacements en transport en commun puisque les individus ont la liberté de revenir avec un autre mode, soit la marche, le taxi ou autres (Cirillo et Axhausen, 2002).

Revue de littérature

Le temps est une des contraintes les plus importantes quand vient le temps de décider du mode de transport pour un déplacement (Vande Walle et Steenberghen, 2006). C'est d'ailleurs pour réduire le temps total de déplacement que les individus consolident leurs activités au sein d'une même chaîne de déplacements (Levinson et Kumar, 1995). La chaîne de déplacements est définie comme étant le lien fait par un individu entre une ou plusieurs activités secondaires et l'activité principale à partir du moment où celui-ci quitte la maison jusqu'au moment où il y reviendra. Bien entendu, différentes typologies ont été proposées, mais l'une des plus intéressantes est la suivante où l'on

retrouve six types de chaînes : la chaîne simple, la chaîne complexe en se rendant vers l'activité primaire (a.p), la chaîne complexe en revenant de l'a.p, la chaîne complexe en se rendant et en revenant de l'a.p, la chaîne complexe à l'a.p (où une deuxième boucle est ici créée) et finalement la chaîne complexe en se rendant, en revenant et à l'a.p (Primerano et *al.*, 2007). François Valiquette (2010), gradué de Polytechnique, s'est d'ailleurs inspiré fortement de cette typologie afin de proposer des typologies de chaînes pour Montréal. Son mémoire explicite davantage le concept de chaîne et en illustre les principaux types. Selon l'auteur, les chaînes de déplacements se divisent d'abord en trois grandes catégories. D'abord, il y a les chaînes simples, qui sont constituées de seulement deux déplacements, soit un premier du domicile vers l'activité et le retour à domicile. Ensuite, les chaînes complexes englobent l'ensemble des déplacements comportant plus d'une activité, soit une activité principale et une ou plusieurs activités secondaires. La troisième catégorie est celle des chaînes ouvertes, où il manque un segment pour clore la chaîne (sachant qu'une chaîne doit s'amorcer et se terminer au lieu de domicile). Afin de détailler davantage les chaînes complexes, celles-ci sont divisées en deux autres catégories. Premièrement, il y a les chaînes complexes mono-boucle, où plusieurs arrêts sont effectués entre le domicile et l'activité primaire, ou vice-versa, mais sans que l'individu ne revienne deux fois au même point d'ancrage. Deuxièmement, il y a les chaînes complexes multi-boucles, suivant le même principe que la chaîne mono-boucle, mais comportant une ou plusieurs boucles supplémentaires. Cela implique que lors de ce type de chaînes, des déplacements se font avec un retour à même point d'ancrage qui n'est pas le domicile. Par exemple, un individu quitte le domicile le matin pour se rendre au travail, et sur l'heure du midi, il quitte le travail pour aller au restaurant et y revient en début d'après-midi. Ensuite, en fin d'après-midi, il complète la boucle principale en revenant au domicile. Les chaînes de déplacements sont typiquement classées en deux, contrainte ou non, selon le motif principal. Si la chaîne est effectuée pour motif étude, travail ou chercher et reconduire quelqu'un, elle est considérée contrainte puisque ces motifs sont généralement liés à des contraintes d'horaire et de localisation. Les chaînes non-contraintes sont plutôt constituées de déplacements dont les motifs suggèrent que leur réalisation n'est pas obligatoire et que leur circonstance spatio-temporelle est plus flexible; on réfère aux chaînes faites pour motif loisir, magasinage et autres. Pour terminer, il est également possible de catégoriser les chaînes selon leurs motifs (motif de l'activité principale et des activités secondaires). En observant l'ensemble des chaînes de déplacements dans l'échantillon étudié, ce sont les chaînes simples contraintes pour le motif travail qui sont les plus fréquentes (41.5%), suivies des chaînes complexes mono-boucle contraintes pour le motif travail (10.6%) (Valiquette, 2010).

Différentes recherches sont consacrées à la relation entre le choix du mode de transport et les chaînes de déplacements. Certaines méthodes ont été utilisées pour illustrer l'interdépendance des chaînes et du choix du mode au sein d'un modèle de choix modal. Une étude de Zhao et al. (2012) propose un modèle logit imbriqué (nested logit) qui analyse séparément les déplacements pour motif travail et ceux pour motifs autres. Ils analysent l'évolution des chaînes de déplacement à Londres depuis 1991 et constatent que celles-ci tendent à se complexifier. Une étude produite par Cirillo et Axhausen (2002) expérimente des modèles multinomial logit et mixed logit incluant des données décrivant la chaîne de déplacements, tel que le nombre d'arrêts. Le modèle multinomial logit permet d'observer que le statut de la personne a un effet significatif sur le choix modal. Par exemple, un travailleur à temps plein aura beaucoup plus de chance d'utiliser le transport en commun. De plus le motif de l'activité principale et le nombre d'arrêts d'une chaîne ont également une incidence forte sur le choix du mode de transport. Le modèle mixed logit démontre plutôt que



le statut et l'âge de l'individu n'ont pas une incidence significative. C'est ce dernier modèle qui, statistiquement, serait le plus performant.

Il est finalement important de bien identifier les variables significatives dans l'élaboration d'un modèle de choix modal. Celles-ci seront déterminées à partir des travaux précédents de la Chaire, notamment la recherche conduite par Martel-Poliquin (2012). Ce dernier propose un regroupement des variables en quatre groupes : variables du milieu bâti (densité, accès aux transports en commun, etc.), variables des ménages (taille, revenu, accès à l'auto), variables des personnes (âge, sexe, statut dérivé) et les variables des déplacements (motifs, chaînage, distance). La méthode ici utilisée propose la construction de différentes variables égocentrées. C'est-à-dire que leur estimation est basée sur le ménage à l'aide d'un tampon (fixé initialement à 500 mètres, mais dont la taille pourra varier) permettant ainsi de mesurer ces variables à une échelle très désagrégée. Une fois ces variables construites, l'auteur étudie la corrélation entre celles-ci et le choix modal. Ainsi, il est possible d'observer qu'avec l'augmentation de la densité du réseau routier autour d'un domicile, la part modale de l'automobile diminue alors que celle des autres modes (marche, vélo et transports en commun) tend à augmenter. Dans le même ordre d'idée, il est observé qu'une augmentation de la densité de passages-arrêts de transport en commun sur 24 heures correspond à une diminution de la part modale de l'automobile alors que celle des transports en commun et de la marche tend à augmenter au fur et à mesure que cette densité augmente. Il est ainsi possible d'apprécier le niveau d'analyse qu'offre la construction de variables égocentrées. L'auteur observe également la corrélation du choix modal avec des variables du ménage qui ne sont pas égocentrées, par exemple le revenu du ménage. Il n'est pas étonnant d'observer que les ménages au revenu le plus élevé ont tendance à utiliser davantage l'automobile (Martel-Poliquin, 2012). Une autre étude propose des variables relativement semblables, mais cinq nouvelles variables semblent particulièrement intéressantes : le statut de la personne, le nombre d'heures de travail par jour, l'horaire de travail, le niveau d'éducation de l'individu et la disponibilité de places de stationnement au travail (Tazul et Khandker, 2012).

Problématique

Alors que les déplacements se complexifient, que ce soit à cause de l'étalement urbain de plus en plus important, de l'éclatement des activités sur le territoire ou de la diversification des alternatives de transport, il importe de mieux comprendre les facteurs qui influencent les habitudes de mobilité et leur impact sur le choix modal.

Dans un contexte où l'on vise un développement durable (intégrant environnement, société et économie), il est primordial de se doter des outils nécessaires pour atteindre nos objectifs en termes de réduction des gaz à effet de serre et de l'utilisation de la voiture. En effet, le Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement du grand Montréal a entre autres fixé l'objectif d'augmenter la part modale des transports en commun, actuellement à 25 %, à 30 % d'ici 2021 et à 35 % d'ici 2031 (CMM, 2012). De plus, il n'y a pas assez de données pour évaluer l'impact des nouveaux modes disponibles ou des modes actifs et alternatifs (modes actifs, vélopartage, autopartage, covoiturage dynamique, déplacements multimodaux).

Objectif général

Ce projet de maîtrise a pour objectif général d'élaborer un modèle de prédiction du choix modal des déplacements qui prend en compte les variables en lien avec les différentes typologies de chaînes de déplacements. Ce modèle devra également intégrer les variables significatives qui



influencent le choix modal parmi les différentes variables de la personne, du ménage, du milieu bâti et des déplacements.

Question de recherche, objectifs spécifiques et hypothèses scientifiques

Question de recherche

Comment déterminer le choix du mode de transport des individus à partir de leurs chaînes de déplacements et des autres variables significatives influençant le choix modal dans la grande région de Montréal?

Objectifs spécifiques

1. Caractériser les différentes typologies de chaînes de déplacements afin d'identifier les variables déterminantes à intégrer au modèle.
2. Développer un modèle de choix discret à l'aide des données de déplacements observés (enquête OD) afin d'établir la probabilité d'un individu de choisir un mode de transport ou l'autre.
3. Valider les résultats du modèle à partir de données d'enquête OD.
4. Déterminer les potentiels et les limites du nouveau modèle en le comparant avec d'autres modèles déjà existants.

Hypothèses scientifiques

Hypothèse 1 : Il existe une corrélation entre les variables de la personne, du ménage, du milieu bâti et des déplacements, et la complexité des chaînes de déplacements.

Hypothèse 2 : Il existe une corrélation entre les variables de la personne, du ménage, du milieu bâti et des déplacements, et le choix modal.

Hypothèse 3 : L'augmentation de la distance du domicile par rapport au centre-ville influence la complexification des chaînes de déplacements.

Hypothèse 4 : La complexification des chaînes de déplacements augmente la part modale de la voiture.

Hypothèse 5 : La complexification des chaînes de déplacements diminue la part modale des transports collectifs.

Réfutabilité des hypothèses : Chacune de ces hypothèses sera testée à partir de tests statistiques. Elles seront réfutées si la significativité des résultats est inférieure à 95 %. C'est d'ailleurs à partir de ces tests statistiques que seront déterminées les variables à utiliser dans le modèle de choix modal.

Originalité

L'étude des chaînes de déplacements est encore très récente. Ainsi, très peu de modèles de choix modal intègrent les variables en lien avec les chaînes de déplacements. D'ailleurs, les quelques modèles existants n'en sont encore qu'à l'étape d'expérimentation et aucun n'existe pour la grande région de Montréal. Plusieurs villes utilisent encore la PSC à des fins de planification, ou encore une version améliorée qui s'apparente un peu plus au modèle d'activité. Cela implique que dans le contexte actuel, où les déplacements tendent à se complexifier continuellement, l'erreur est importante. De plus, les modèles de choix modal actuel n'intègrent pas les nouveaux modes tels que les vélos en libre-service et les services d'autopartage.



En offrant une analyse plus détaillée des déterminants du choix modal, le développement de ce modèle permettra de mesurer avec plus d'efficacité l'impact des différentes politiques et changements au niveau de l'offre de transport dans la région de Montréal.

Également, la demande de ce type de modèle de choix modal est très attendue par les différents acteurs du domaine des transports à Montréal, qui doivent continuellement être en mesure de prévoir la demande de transport afin de faire la planification en conséquence.

4.6.2 Activités et méthodologie

Données

1. Données des enquêtes Origine-Destination (O-D) de la grande région de Montréal pour les années 2003 et 2008.
2. Fichiers GTFS des organismes de transports de la grande région métropolitaine de Montréal (Société de Transport de Montréal, Réseau de Transport de Longueuil, Société de Transport de Laval, Agence Métropolitaine de Transport)
3. Réseau routier canadien de 2006 (Statistiques Canada, 2010)

Méthodologie

1. *Revue de littérature*

La revue de littérature est l'une des étapes les plus importantes dans la réalisation d'un projet, car elle permet de prendre connaissance des avancées dans le domaine concerné et constitue un bon point de départ pour la recherche. C'est à partir de cette étape que seront déterminées les variables à étudier pour le modèle de choix modal, ainsi que le type de fonction à utiliser. C'est également à partir de la revue de littérature que sera faite la caractérisation des différentes typologies de chaînes de déplacements.

2. *Combiner les données de l'enquête O-D aux fichiers GTFS et au réseau routier canadien et développer les méthodes permettant de les traiter afin d'en faire des variables potentielles*

Afin de pouvoir étudier les différentes variables du milieu bâti, il est nécessaire de traiter ces données et de les combiner à celle de l'enquête O-D car cette dernière servira de base de données principale pour le projet. Les passages-arrêts cumulés sur 24 heures, ainsi que la longueur du réseau routier sera ainsi déterminée. À l'aide d'un logiciel de programmation, le traitement de ces données nous permettra entre autres de créer des variables égocentrées, estimées au niveau du voisinage immédiat des ménages. Cette étape utilisera principalement les méthodes développées par Martel-Poliquin (2012).

3. *Créer des variables à partir des typologies de chaînes de déplacements*

Afin d'en faire des variables du choix modal, il sera important de déterminer des variables plus détaillées que chaînes simples ou chaînes complexes. Elles devront prendre en compte les différentes boucles qui peuvent être produites au sein d'une chaîne, ainsi que les contraintes liées aux motifs. Pour ce faire, il faudra utiliser et adapter la méthode mise au point par Valiquette (2010).

4. *Élaborer une typologie des modes de transport*

Puisque ce modèle utilisera des variables en liens avec les chaînes de déplacements, il est nécessaire de déterminer si les différents modes permettent ou non le chaînage. C'est-à-dire qu'il faudra préciser si le mode utilisé est transportable, s'il est temporaire et que nous pouvons ainsi le



laisser à une station, ou s'il est nécessaire de boucler la chaîne avec ce même mode pour le récupérer.

5. Définir les variables explicatives du choix modal

À cette étape, les différentes variables sélectionnées seront testées afin de vérifier si elles sont significatives, c'est-à-dire si elles peuvent expliquer le choix du mode d'un individu. Les variables en lien avec les chaînes de déplacements seront également testées ici.

6. Élaborer un modèle de choix modal à partir des variables sélectionnées

Après avoir sélectionné les différentes variables à intégrer au modèle, celui-ci pourra être défini à partir d'une fonction logit (probablement logit multinomial) afin de déterminer la probabilité d'un individu de choisir un mode particulier. Le modèle logit multinomial est le modèle de choix discret le plus utilisé dans le domaine. Différents paramètres devront être calibrés à partir des données de l'enquête O-D.

7. Valider et comparer le nouveau modèle avec des modèles existants

Afin de valider et mesurer les avancées de ce nouveau modèle, les données obtenues seront comparées tout d'abord à celles de l'enquête O-D la plus récente, ainsi qu'aux données obtenues à partir d'autres approches typiques de modélisation du choix modal.

Échéancier

Cette maîtrise s'échelonne sur deux ans, soit six sessions entre l'automne 2012 et l'été 2014 (voir Tableau 12). À chaque année, durant la session d'hiver, se tient le congrès annuel de l'Association Québécoise des Transports (AQTr). Les étudiants dont les projets de recherche sont suffisamment avancés doivent tous y présenter leur projet sous forme de *poster* ou d'exposé. Il est également envisagé de participer au congrès du Transportation Research Board (TRB), qui se tient généralement au mois de janvier à Washington, D.C. Le dernier événement important se trouve être le colloque de la Chaire Mobilité où chacun doit présenter les avancées de ses recherches.

Tableau 12. Échéancier du projet

Activités	1er Année			2e Année		
	A-12	H-13	E-13	A-13	H-14	E-14
Exigences académiques						
Suivi des cours réguliers						
Activités						
Revue littéraire						
Combiner les données O-D, GTFS et réseau routier						
Définir les variables explicatives						
Développer un modèle de choix modal						
Validation et comparaison du modèle						
Biens livrables						
Conférences						
Rédaction du mémoire						



4.7 Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements

- Étudiant : Jean-Simon Bourdeau (maîtrise)
- Supervision : Saunier et Morency
- État : amorce
- Financement : Chaire Mobilité

****** LE TEXTE QUI SUIT EST UN EXTRAIT DU DOCUMENT NON FINAL DE MÉMOIRE DE JEAN-SIMON BOURDEAU – des éléments pourront être différents dans le mémoire final ******

4.7.1 Contexte

Ce projet de recherche s'inscrit dans la suite du mémoire d'Abdoulaye Diallo, déposé en 2012. Dans son mémoire, Diallo a utilisé les données de l'enquête Origine-Destination (OD) afin d'estimer Des capacités théoriques de stationnement sur rue, dans un quartier précis (Plateau-Mont-Royal). Il a aussi proposé une méthode de validation de ces capacités avec des systèmes d'information géographique (SIG) et des outils de cartographie tels que Google et OpenStreetMap. Il a finalement étudié l'utilisation des stationnements et la variabilité dans le temps.

L'analyse des stationnements appliquée au Plateau-Mont-Royal a également été l'objet d'un projet d'initiation à la recherche en 2009 par Damien Talbi, sous la supervision de la Pr Catherine Morency.

Le but de ce présent projet de recherche est de proposer une automatisation du calcul et de la validation de la capacité des stationnements, à l'aide des données des panneaux de signalisation de la ville de Montréal. Par la suite, il sera possible, à l'aide des enquêtes OD, d'automatiser la détermination de la demande de stationnement dans un quartier donné. Une étude en profondeur d'un générateur de déplacements sera aussi faite, afin d'analyser la dynamique de stationnement au niveau microscopique.

4.7.2 Données disponibles

Données ouvertes de la ville de Montréal

La ville de Montréal dispose d'un portail de données ouvertes, afin que les citoyens aient accès à certaines informations. Tous les arrondissements n'ont cependant pas mis en ligne ces données.

Les arrondissements suivants ont publié des données sur les panneaux de signalisation :

- Ahuntsic-Cartierville
- Anjou *
- Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce
- Lachine
- Lasalle *
- Le Plateau-Mont-Royal
- Le Sud-Ouest
- Mercier-Hochelaga-Maisonneuve
- Montréal-Nord *
- Outremont

- Pierrefonds-Roxboro *
- Rivière-des-Prairies-Pointe-aux-Trembles
- Rosemont La-Petite-Patrie
- Saint-Laurent
- Saint-Léonard
- Verdun *
- Ville-Marie
- Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension

*Pour ces arrondissements, les données sont partielles.



Figure 71 : Panneaux de signalisation par arrondissement, pour les arrondissements ayant mis des données en ligne

Dans le cas de certains arrondissements, il semble que les données soient partielles; ces arrondissements ne pourront malheureusement pas être utilisés. Néanmoins, la majorité des arrondissements ont présenté des données de manière assez exhaustive. Il serait intéressant d'analyser des arrondissements différents en termes de type d'environnement : le centre-ville (Ville-Marie), un arrondissement central (par exemple Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension) et un arrondissement plus similaire à une banlieue (par exemple Rivière-des-Prairies-Pointe-aux-Trembles).

L'information est aussi agrégée par type de panneau de signalisation. Les cartes suivantes illustrent la géolocalisation des différents types de panneaux de signalisation. Pour ces différentes cartes, il est important de mentionner que les panneaux montrés ne sont pas représentatifs de l'ensemble des panneaux disponibles sur l'Île de Montréal. Il s'agit d'un portrait partiel des panneaux, qui dépend de la participation des arrondissements à la diffusion de données ouvertes.



Figure 72 : Géolocalisation des panneaux de stationnement, pour les arrondissements ayant mis des données en ligne

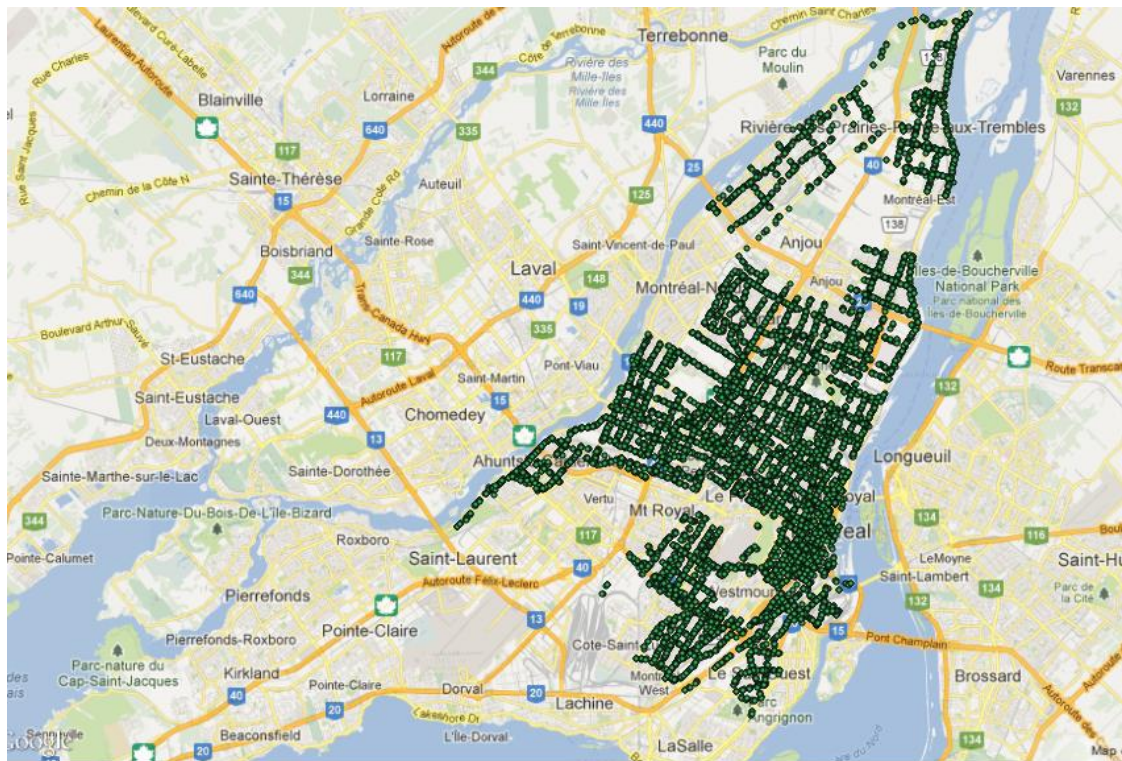


Figure 73 : Géolocalisation des panneaux d'interdiction d'arrêt en raison de la présence d'un arrêt d'autobus, pour les arrondissements ayant mis des données en ligne



Figure 74 : Géolocalisation des panneaux pour les vélos

Données obtenues de la ville de Montréal

Nous avons obtenu, de la ville de Montréal, des données sur les stationnements payants, qu'ils soient extérieurs ou intérieurs (excluant les parcomètres). Ces stationnements sont majoritairement situés dans le Centre des Affaires (CDA). Nous avons aussi de l'information sur ces stationnements : la superficie brute ainsi que l'adresse.

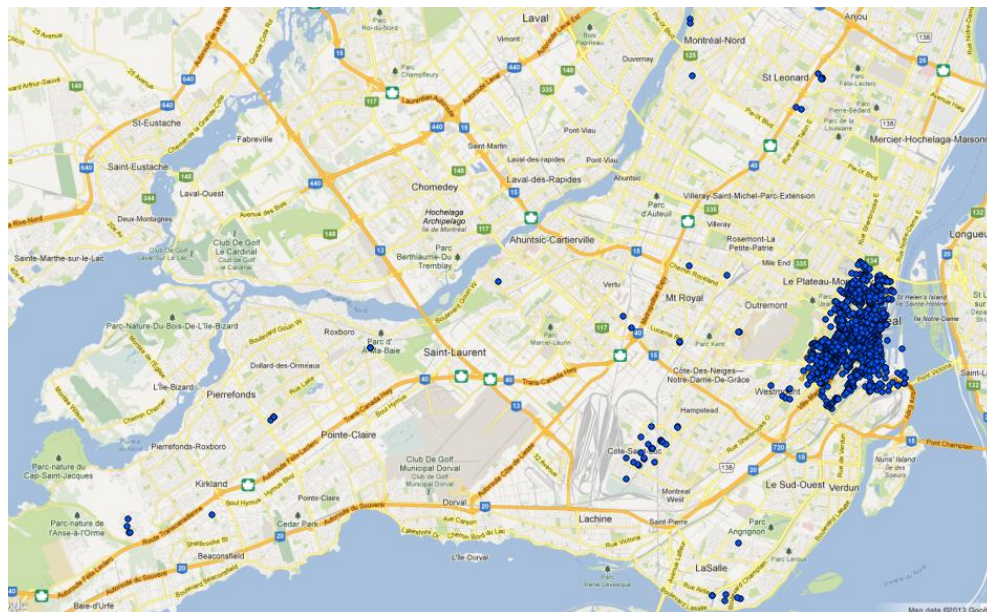


Figure 75 : Géolocalisation des stationnements payants

4.7.3 Schéma de montage d'un système d'offre et de demande de stationnement

La figure qui suit propose un schéma des données d'offre et de demande de stationnement qui pourront être intégrées dans l'analyse.

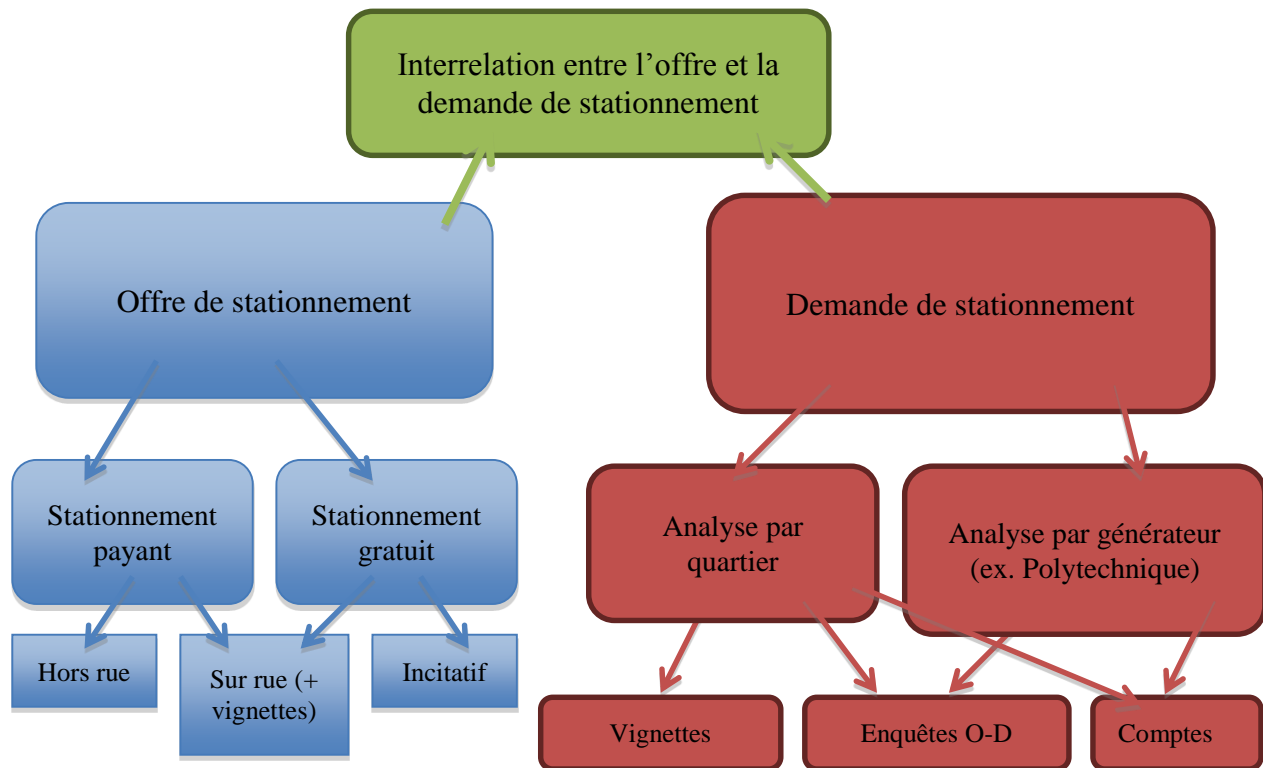


Figure 76. Schéma d'un système intégré d'information sur l'offre et la demande de stationnement

4.7.4 Données nécessaires pour la suite du projet

Les données suivantes devraient contribuer à la réalisation du projet de recherche:

- Données sur les stationnements payants (intérieurs et extérieurs);
- Données sur les vignettes de stationnement émises par les arrondissements de la ville de Montréal;
- Données sur les stationnements incitatifs;
- Données de stationnement de Polytechnique (pour l'étude d'un générateur);
- Comptages (pour avoir des taux d'utilisation).

4.7.5 Échéancier

L'échéancier suivant est proposé pour le projet :

- Mai 2013 : Début du projet
- Août 2014 : Fin du projet



5 Autres travaux pertinents

La Chaire Mobilité est impliquée dans différents autres projets de R&D dont les thématiques sont d'intérêt pour les partenaires notamment :

5.1 Développement d'un outil intégré de collecte, analyse et visualisation de données de mobilité (Projet de doctorat de Pierre-Léo Bourbonnais, Direction : Catherine Morency)

Cette recherche est financée par différents projets de R&D en collaboration avec le MTQ (projets R684 et R721) et l'AMT (cas de la prochaine enquête régionale montréalaise).

Un outil d'enquête web a été mis au point, d'abord pour réaliser une enquête sur la mobilité de la communauté de Polytechnique, puis pour différentes autres expériences. L'outil web a donc été utilisé dans les contextes suivants :

- Automne 2010: réalisation d'une première enquête WEB auprès de la Communauté de l'École Polytechnique de Montréal – mise au point d'un outil inspiré des grandes enquêtes régionales du Québec -- contribution à Polytechnique pour PLAN de MOBILITÉ DURABLE
- Printemps 2011: expérimentation d'un questionnaire « personne » dans le cadre de l'enquête régionale de Trois-Rivières
- Automne 2011: 2e enquête Polytechnique et 1e enquête auprès de la Communauté du Campus de l'Université de Montréal
- Automne 2011: expérimentation d'un questionnaire « ménage » dans le cadre de l'enquête régionale de Québec
- Automne 2012: expérimentation d'un questionnaire « ménage » en vue d'un volet web pour l'enquête régionale 2013 de Montréal
- Printemps 2013: phase 2 de l'enquête web auprès des communautés étudiantes (Cégep + Université) de Sherbrooke pour fusion avec enquête régionale

Le rapport final du projet MTQ portant sur les enquêtes de Québec et Trois-Rivières est maintenant disponible en ligne : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1147822.pdf>.

5.2 Contributions à la prévision de la demande de transport par les modèles d'activités (Projet de doctorat de Farhana Yasmin, Direction : Catherine Morency / Matthew Roorda)

Cette recherche a été financée par un projet de R&D du MTQ (Projet R661). La méthodologie de recherche s'articulait en 5 étapes:

1. Revue de littérature sur la modélisation de la demande de transport notamment les modèles d'activités et la microsimulation dans un cadre de modèle régional.
2. Analyse évolutive des patrons d'activités des ménages et personnes à l'aide des données des grandes enquêtes Origine-Destination tenues dans la région de Montréal (1987-2008). L'analyse



s'attarde à mieux comprendre l'évolution de la complexité des patrons de mobilité notamment en termes d'organisation spatio-temporelle des activités par les personnes constituant les ménages.

3. Transposition, au contexte montréalais, du modèle TASHA (Travel Activity Scheduling Model for Household Agents) élaboré par des chercheurs de Toronto, afin d'évaluer sa pertinence et sa capacité à reproduire les comportements observés précédemment, via les données des enquêtes Origine-Destination.

4. Expérimentation d'une méthodologie de synthèse de population (création d'une population synthétique totalement désagrégée) comme intrant au processus de modélisation et microsimulation.

5. Recommandations méthodologiques sur le processus de modélisation.

Le rapport final sur le projet est maintenant disponible en ligne à l'adresse suivante : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1147869.pdf>.

5.3 Code de la rue (Projet de doctorat de Jean-François Bruneau, Direction : Catherine Morency)

Un nouveau projet a été amorcé en 2012 en collaboration avec le Ministère des transports du Québec sur l'évaluation du potentiel d'application d'une démarche « Code de la rue » pour le Québec et l'identification des enjeux et stratégies liés à sa mise en œuvre. Les objectifs spécifiques du projet, tels que spécifiés au devis technique 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). »

La première année a permis de réaliser un état des connaissances sur les différents aménagements et concepts mis en place afin de faciliter la mobilité de toutes les clientèles. Un rapport visant



spécifiquement les zones de rencontre a aussi été livré afin d'alimenter les réflexions autour de l'implantation possible de celles-ci au Québec.

Le projet devrait se terminer à la fin 2014.

5.4 Projet sur la valorisation de données GPS de camions

La Chaire a reçu un mandat de la Communauté Métropolitaine de Montréal pour réaliser une « *Étude sur le potentiel de valorisation de données de camionnage pour fins de planification régionale et d'analyse de compétitivité* » en 2012. Le projet visait essentiellement à évaluer le potentiel analytique de deux ensembles de données fournis par Transport Canada :

- Des fichiers de manifestes : quatre fichiers de manifestes (relevé des opérations de transport) ont été fournis pour fins de recherche; le plus complet (A) a été analysé en profondeur afin d'évaluer les potentialités d'analyses et de faire des démonstrations des applications possibles de ce type de données; les autres fichiers ont aussi été examinés mais surtout pour valider certaines des potentialités d'analyse.
- Des fichiers de points GPS : deux extraits de données GPS ont été étudiés : a) tous les points localisés à l'intérieur d'un quadrilatère du territoire de la Grande Région de Montréal (incluant les camions en transit) et b) les traces des camions ayant une origine ou une destination dans la GRM. Ces données ont été obtenues de Transports Canada pour fins de recherche mais aucun détail supplémentaire n'est disponible (source, provenance)

Le rapport a été déposé à la CMM et devait prochainement être disponible en ligne. Le rapport propose des analyses réalisées à partir des données de manifestes notamment des analyses spatiales (lieux visités pendant un mois, points d'origine et de destination des déplacements et tournées, distances parcourues), des analyses temporelles (heures de départ et d'arrivées, durées des déplacements) et des analyses de rythmes (nombre de déplacements, variabilité à travers le mois / par type de jour). Les principaux objets sont examinés plus en détails (déplacements, tournées) et des typologies sont proposées pour les déplacements : typologie basée sur les propriétés des origines, destinations, type de marchandises, distance parcourue, régions impliquées. Par la suite, avec les données du manifeste le plus complet, la variabilité des déplacements réalisés pendant la période d'observation d'un mois est examinée. Ensuite, une analyse appliquée à la CMM est proposée.

Le rapport propose aussi une démonstration des analyses réalisables à l'aide des deux ensembles de données de points GPS. La base de données qui contient tous les points localisés dans un rectangle de Montréal permet surtout de faire une analyse des conditions de circulation sur le réseau (vitesses) et de faire ressortir les comportements d'utilisation du réseau routier par les camions. La seconde base de données, qui contient tous les points des déplacements s'amorçant ou se terminant à Montréal permet de faire différentes analyses telles que: distribution temporelle des déplacements, analyse des tournées, analyse spatiale (routes) ainsi qu'une analyse centrée sur la CMM.

6 Rayonnement

Cette section fait état de différentes activités de la Chaire depuis mai 2012 ainsi que de publications pertinentes. Cette liste n'est pas exhaustive.

6.1 Catherine Morency

Articles, présentations et autres productions

Présentation au congrès annuel de l'AQTIM 2012

Participation, en janvier 2013, au Colloque sur le périurbain organisé par le Forum vies mobiles et invitation à rédiger une note qui sera publiée dans le livre en découlant.

Présentation à la table d'expertise Transports des marchandises de l'AQTR

Conférencière lors de la Conférence du CIRRELT tenue en avril 2013 à l'Université de Montréal et présentation sur la Chaire : « Contributions de la recherche à la mise en œuvre de la durabilité en transport »

Conférence au Xerox research center de Grenoble sur la Chaire Mobilité en avril 2013 (voir [http://www.xrce.xerox.com/About-XRCE/News/Announcements/Seminar-Overview-of-the-Mobility-Chair-research-program-on-sustainable-mobility-Friday-April-19th-2013/\(language\)/eng-GB](http://www.xrce.xerox.com/About-XRCE/News/Announcements/Seminar-Overview-of-the-Mobility-Chair-research-program-on-sustainable-mobility-Friday-April-19th-2013/(language)/eng-GB))

Conférencière lors de la 12e Journée de la recherche de Polytechnique "Big Data – Recherche opérationnelle" sur le thème "Des espions GPS pour mesurer les conditions de circulation"

Tournage d'une vidéo d'information avec IBM sur la mobilité durable diffusé lors du congrès annuel de l'AQTR de Montréal 2013.

Co-présidente de l'atelier «Photo-stories of hard-to-model & hard-to-understand travel behaviour» de la « 13th International Conference on Travel Behavior Research » tenue à Toronto en Juillet 2012.

Comités

Participation aux comités scientifiques du Forum Vies Mobiles de novembre 2012 et avril 2013 et tournage de 3 vidéos sur des thématiques d'actualité en mobilité. Une première vidéo est disponible sur le site du Forum. Détails sur le Forum disponibles ici : <http://forumviesmobiles.com/>.

Nommée directrice de la Table d'expertise Transport Collectif et toujours membre de la Table d'expertise Mobilité durable de l'Association québécoise du transport et des routes.

Membre (par nomination) de deux comités du Transportation Research Board : Emerging and Innovative Public Transport and Technologies (comité AP020) et Traveler Behavior and Values (comité ADB10) et membres du ISCTSC (International Steering Committee on Travel Survey Conference)

Membre du Jury d'Honneur des grands prix d'excellence de l'AQTR 2013



6.2 Nicolas Saunier

Articles et présentations

Analyse de la sécurité des carrefours giratoires au Québec, 48ème Congrès de l'AQTr, 25 mars 2013

Open Source Tools for Trajectory Data Analysis, TRB Workshop on Big Data Informatics: Innovations in Mining Structured and Unstructured Information for Mobility Decision-Making, 13 janvier 2013

Membre du panel du colloque de l'AQTr sur Les STI intégrés: enjeux et perspectives, 7 février 2013

Informatics: Innovations in Mining Structured and Unstructured Information for Mobility Decision-Making, TRB Workshop 124, 13 janvier 2013

Open source tools for trajectory data analysis, Conférence STI Canada, Québec, 13 juin 2012

A Surrogate Safety Analysis at Protected Freeway Ramps Using Cross-Sectional and Before-After Video Data, Conférence STI Canada, Québec, 12 juin 2012

Analyse proactive de la sécurité routière et traitement d'image, colloque annuel du Réseau de Recherche en Sécurité Routière, Université Laval, 22 mai 2012

Comités

Membre de la table d'expertise sur le STI de l'AQTr, de la Table de concertation sur les données ouvertes de la ville de Montréal.

Participation à l'organisation du Colloque International Francophone Piéton 2013, La ville sous nos pieds: connaissances et pratiques favorables aux mobilités piétonnes, qui aura lieu en novembre de cette année (<http://copie2013.sciencesconf.org/>).

6.3 Martin Trépanier

Cette section fait état de travaux et d'activités pertinents à la chaire.

Articles et présentations

Nurul Habib Khandker M., Morency Catherine, Trépanier Martin, Integrating Parking Behaviour in Activity-Based Travel Demand Modelling: Investigation of the Relationship between Parking Type Choice and Activity Scheduling Process, Transportation Research Part A, 46(1), 154-166, 2012.

Paez A., Trépanier Martin, Morency Catherine, Modeling isoexposure to transit users for market potential analysis, Transportation Research Part A, 46(10), 1517-1527, 2012.

Leclerc B., Trépanier Martin, Morency Catherine, Unraveling the travel behavior of carsharing members from GPS traces, TRB Annual Meeting Compendium of Papers, Papier 13-1705, Washington, États-Unis, 13-17 janvier, 2013



Nazem Mohsen, Trépanier Martin, Morency Catherine, Integrated intervening opportunities model for public transit trip generation and distribution: Supply-dependent approach, TRB 91st Annual Meeting Compendium of Papers DVD, Papier 13-2986, Washington, États-Unis, 13-17 janvier, 2013

Trépanier Martin, Morency Catherine, Leclerc B., Caractérisation des déplacements des usagers de l'autopartage, 48e congrès annuel de l'Association québécoise du transport, Montréal, 2013

Comités

Codirecteur de la table d'expertise sur le transport des marchandises de l'Association québécoise du transport (AQTr).

Membre du comité de sélection des boursiers étudiants de l'Association québécoise du transport (AQTr).

6.4 Participation à des conférences

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

- 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., janvier 2013 :
 - Diallo, Abdoulaye, Morency, Catherine, Saunier, Nicolas (2013) Methodology of Parking Analysis
 - Leclerc, Benoît, Trépanier, Martin, Morency, Catherine (2013) Unraveling the Travel Behavior of Carsharing Members from GPS Traces
 - Nazem, Mohsen, Trépanier, Martin, Morency, Catherine (2013) Integrated Intervening Opportunities Model for Public Transit Trip Generation and Distribution: Supply-Dependent Approach
 - Paez, Antonio, Lopez, Fernando, Ruiz, Manuel, Morency, Catherine (2013) Development of Indicator to Assess Spatial Fit of Discrete Choice Models
 - Reyes, Mario, Paez, Antonio, Morency, Catherine (2013) Accessibility to Urban Parks in Montreal from the Perspective of Children
 - Nurul Habib, Khandker M., Morency, Catherine, Trépanier, Martin, Salem, Sarah (2013) Route Choice Modelling for Urban Commuters: Considering Bridge Choice as a Key Determinant of Selected Routes
- 48^e congrès annuel de l'association québécoise du transport et des routes, Montréal, mars 2013
 - Bourbonnais, Pierre-Léo, Morency, Catherine (2013) Outil intégré de collecte, d'analyse et de visualisation des données de mobilité
 - Bruneau, Jean-François, Morency, Catherine (2013) La démarche Code de la rue : un concept applicable au Québec

- Saunier, Nicolas, St-Aubin, Paul, Burns, Shaun, Miranda-Moreno, Luis (2013) Analyse de la sécurité des carrefours giratoires au Québec
- Sioui, Louiselle (2013) Et si les nombreux tentacules de la mobilité durable formaient un cercle?
- Trépanier, Martin, Morency, Catherine, Leclerc, Benoît (2013) Caractérisation des déplacements des usagers de l'autopartage
- Morency, Catherine, Verreault, Hubert (2013) L'automobile dépossédée : d'immobile à utile
- Miller, E. J., Lee-Gosselin, M., Roorda, M., Nurul Habib, K., Shalaby, A. (2013) Modification des pratiques de collecte de données sur le transport des personnes : faits saillants d'un projet de l'ATC
- Poliquin, Éric, Morency, Catherine (2013) Mieux comprendre les déterminants du choix modal
- Séance d'affichage : Catherine Plouffe (Application d'un modèle âge-période-cohort caractéristiques à la prévision de la demande de transport), Abdoulaye Diallo (Méthodologie d'analyse des stationnements), Mohsen, Nazem (Modèle renouvelé d'estimation de la demande de transport en commun), Julien Faucher (Pont de l'autoroute 25 : Un système d'information intégré pour l'analyse des impacts), Pegah Nouri (Pistes pour mieux comprendre l'estimation des GES émis par les transports), Farhana Yasmin (Application of an activity-based travel demand model in Montréal), Christine Théberge-Barrette (Une nouvelle tour d'habitation... Combien de déplacements générés?), Kinan Bahboub (Modélisation d'un corridor de transport et évaluation de son niveau de durabilité)
- C'est aussi une équipe de Polytechnique, formé de 5 étudiants, qui a gagné le défi 3 jours et 3 nuits lancé par l'AQTR.
- 13th International Conference on Travel Behavior Research
 - Morency, Catherine, Nurul Habib, Khandker, Trepanier, Martin, Salem, Sarah (2013) Route Choice Modelling for Urban Commuters: Considering Bridge Choice as a Key Determinant of Selected Routes
 - Pépin, Félix, Morency, Catherine (2013) Unexpected Collective Impacts Of Individual Decisions: The Case Of School Selection
 - Yasmin, Farhana, Morency, Catherine, Roorda, Matthew (2013) An Empirical Analysis of Change in Activity Attribute Distributions over Time

6.5 Activités organisées par la Chaire

- Atelier de travail sur les indicateurs de mobilité durable
- Colloque annuel les 23 et 24 mai 2012 : journée publique (environ 110 participants) et journée réservée aux partenaires et chercheurs de la Chaire.

7 Références

- Achour, H., Carton, J. G., & Olabi, A. G. (2011). Estimating Vehicle Emissions from Road Transport, Case Study: Dublin City. *Applied Energy*, 88(5), 1957-1964. doi: 10.1016/j.apenergy.2010.12.032
- Alternative Fuels: E85 and Flex Fuel Vehicles. (2006). Ann Arbor, MI: U.S. Environmental Protection Agency.
- Assemblée nationale du Québec, Loi concernant l'inspection environnementale des véhicules automobiles, 48 (2011) (<http://www.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/projets-loi/projet-loi-48-39-2.html>)
- André, JM, & Joumard, R. (2005). Modelling of cold start excess emissions for passenger cars: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).
- Andrews, Gordon E., Li, Hu, Wylie, J. A., & Zhu, Grant (2005). Influence of ambient temperature on cold-start emissions for a Euro 1 SI car using in-vehicle emissions measurement in an urban traffic jam test cycle. *General Emissions 2005*, 133-154.
- Ardekani, S A, & Sumitsawan, P. (2010). Effect of pavement type on fuel consumption and emissions in city driving (pp. 71): The Ready Mixed Concrete Research & Education Foundation.
- Atkins, Richard D. (2009). *An Introduction to Engine Testing and Development*: SAE International.
- Bachman, William, Sarasua, Wayne, Hallmark, Shauna, & Guensler, Randall. (2000). Modeling Regional Mobile Source Emissions in a Geographic Information System Framework. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 8(1-6), 205-229. doi: 10.1016/s0968-090x(00)00005-x
- Baldwin G, Fagan S. Trip chaining while driving – comparing men's and women's behaviour. Statistics Canada, *EnviroStats*, Hiver 2007, vol. 1 no. 3, pp. 8-11. Catalogue no. 16-002-X.
- Barla, Philippe, Miranda-Moreno, Luis, Savard-Duquet, Nikolas, Thériault, Marius, & Lee-Gosselin, Martin. (2010). Disaggregated Empirical Analysis of Determinants of Urban Travel Greenhouse Gas Emissions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2156, 160-169.
- Bielaczyc, Piotr, & Merkisz, Jerzy. (1997). Exhaust Emission from Passenger Cars During Engine Cold Start and Warm-Up. SAE Technical Paper 970740. doi: 10.4271/970740
- Bielaczyc, Piotr, & Merkisz, Jerzy. (1998). Cold Start Emissions Investigation at Different Ambient Temperature Conditions. SAE Technical Paper 980401. doi: 10.4271/980401
- Biggs, D. C., & Akcelik, R. (1986). An energy-related model of instantaneous fuel consumption. *Traffic Engineering and Control*, 27(6), 320-325.
- BITRE (Bureau of infrastructure, transport and regional economics). *Traffic growth: Modelling a global phenomenon*. Report 128. Department of Infrastructure and Transport, Canberra, Australia, 2012.

- 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.
- Cambridge Systematics Inc. (2005). Vermont Corridor Management Handbook. Vermont Agency of Transportation. Tiré de <http://www.aot.state.vt.us/planning/Documents/Planning/Background.pdf>.
- Carr, J.L., Dixon, C.D., & Meyer, M. (2010). Guidebook for Corridor-Based Statewide Transportation Planning. Tiré de http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_661.pdf
- CCE, C.d.C.E. (2007). Plan d'action pour la logistique du transport de marchandises. Tiré de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0607:FIN:FR:PDF>.
- CEFRIO. *NETendances 2011*, Québec, 2012.
- Chaney, L., Thundiyil, K., Andersen, S., Chidambaram, S., & Abbi, Y. P. (2007). Fuel savings and emission reductions from next-generation mobile air conditioning technology in India. Paper presented at the VTMS 8 - Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition, May 20, 2007 - May 24, 2007, Nottingham, United kingdom.
- Chartrand-Beauregard J, Gingras S. *L'économie du savoir au Québec*. Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation, Québec, 2005.
- Chester, M., & Horvath, A. (2008). Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2.
- Choi, David, Beardsley, Megan, Brzezinski, David , Koupal, John , & Warila, James (2011). MOVES Sensitivity Analysis: The Impacts of Temperature and Humidity on Emissions.
- Cirillo, C. and K.W. Axhausen (2002) *Mode choice in complex tours: A panel analysis*, Communication présentée à la European Transport Conference 2002. Cambridge, Angleterre
- Cobian, R., Henderson, T., Mitra, S., Nuworsoo, C., & Suvillan, E. (2009). Vehicle Emissions and Level of Service Standards: Exploratory Analysis of the Effects of Traffic Flow on Vehicle Greenhouse Gas Emissions. *Ite Journal-Institute of Transportation Engineers*, 79(4), 30-+.
- Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU. (1987). Notre avenir à tous, Rapport Brundtland. (Éditions du Fleuve, Éd.). Rapport de la Commission présidée par Mme Gro Harlem Brundtland.
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2012). *Un Grand Montréal attractif, compétitif, et durable*, Plan métropolitain d'aménagement et de développement, édition 2012, 221 p.
- Corvalan, Roberto M., & Urrutia, Cristian M. (2000). Emission Factors for Gasoline Light-Duty Vehicles: Experimental Program in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(12), 2102-2111. doi: 10.1080/10473289.2000.10464238

- Corvalan, Roberto M., & Vargas, David. (2003). Experimental analysis of emission deterioration factors for light duty catalytic vehicles Case study: Santiago, Chile. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8(4), 315-322. doi: 10.1016/s1361-9209(03)00018-x
- Davis B, Dutzik T, Baxandall P. *Transportation and the new generation. Why young people are driving less and what it means for transportation policy*. Frontier Group, CoPIRG Foundation, Boston, 2012.
- Debrie, J., & Comtois, C. (2010). Une relecterure du concept de corridors de transport: Illustration comparaison comparée Europ/Amérique du nord. *Les Cahiers scientifiques du transport*(58). Tiré de <http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=50892689>
- Doantam, P., Ling, X., Yeh, R., & Hanrahan, P. (2005, 23-25 Oct. 2005). Flow map layout. Communication présentée à Information Visualization, 2005. INFOVIS 2005. IEEE Symposium on (p. 219-224). doi: 10.1109/infvis.2005.1532150
- Ester, M., Kriegel, H.P., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Communication présentée à Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data mining (vol. 1996, p. 226-231).
- Florida R. *The rise of the creative class, Revisited. 10th anniversary edition*. Basic Books, New York, 2012.
- Freire, P., Gemme, R., Glander, A., Hermann, F., Higuera, C., Horz, H.-W., . . . Verfaillie, D. (Édit.). (2007). *Dictionnaire technique routier*.
- Frey WH. *Demographic reversal: cities thrive, suburbs sputter*. Series State of Metropolitan America, no. 56, Brookings Institution, Washington, D.C., 2012.
- Frey, H. Christopher, Zhai, Haibo, & Roupail, Nagui M. (2009). Regional On-Road Vehicle Running Emissions Modeling and Evaluation for Conventional and Alternative Vehicle Technologies. *Environmental Science & Technology*, 43(21), 8449-8455. doi: 10.1021/es900535s
- Frey, H., Roupail, Nagui M., & Zhai, Haibo. (2006). Speed- And facility-specific emission estimates for on-road light-duty vehicles on the basis of real-world speed profiles. Paper presented at the Air Quality 2006, 2001 Wisconsin Avenue NW, Green Building, Washington, DC 20007, United States.
- Fuel Consumption Ratings. (2012, 2011-09-06). Retrieved February-22, 2012, from <http://oee.nrcan.gc.ca/transportation/tools/fuel-consumption-guide/fuel-consumption-guide.cfm>
- Garrard J. *Active transport: Adults. An overview of recent evidence*. Victoria Health Promotion Foundation, Melbourne, 2009.
- Gendron, C., & Revéret, J.-P. (2000). Le développement durable. *Économies et Sociétés, Série F, D*(37), 111 124.

- GmbH. (2006). Gasoline engine management : [systems and components] (3rd ed., completely rev. and extended ed.). Plochingen; Chichester, West Sussex, England: Robert Bosch GmbH.
- Goodwin P. *Peak travel, peak car and the future of mobility: Evidence, unresolved issues, policy implications, and a research agenda*. Discussion paper no. 2012-13. International Transport Forum. Prepared for the Rountable on Long-Run Trends in the Travel Demand, 29-30 November 2012.
- Grégoire, J. (2011). Analyse évolutive des comportements de mobilité des personnes âgées. Maîtrise, Polytechnique de Montréal, Montréal.
- Hawkins, Troy R., Singh, Bhawna, Majeau-Bettez, Guillaume, & Strømman, Anders Hammer. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, no-no. doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x
- Holte, E.A., Minsaas, A., & Kvamstad, B. (2012). Supporting EU's freight transport logistics : action plan on green corridors issues. SuperGreen Consortium-European Commission. Tiré de <http://www.supergreenproject.eu/docs/public/D4.4-PUBLIC.PDF>.
- Institut de la statistique du Québec. *Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2006-2056*. Gouvernement du Québec, Québec, 2009.
- Institute of Transportation Engineers(ITE). (2003). *Trip Generation* (7e éd.). Kevin G. Hooper, P.E.
- Institute of Transportation Engineers(ITE). (2004). *Trip Generation Handbook: An ITE Proposed Recommended Practice* (2e éd.). Kevin G. Hooper, P.E.
- ISO. (2006). ISO14040: Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.
- Jian, L., Lizhong, Y., & Daoliang, Z. (2005). Simulation of bi-direction pedestrian movement in corridor. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 354, 619-628. doi: 10.1016/j.physa.2005.03.007
- Jimenez-Palacios, Jose Luis. (1999). Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing. (Ph.D. 0800817), Massachusetts Institute of Technology, United States -- Massachusetts. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/304557804?accountid=40695> ProQuest Dissertations & Theses (PQDT) database.
- Johnson, V. (2002). Fuel Used for Vehicle Air Conditioning: A State-by-State Thermal Comfort-Based Approach. SAE Technical Paper 2002-01-1957. doi: 10.4271/2002-01-1957
- Kean, Andrew J., Harley, Robert A., & Kendall, Gary R. (2003). Effects of Vehicle Speed and Engine Load on Motor Vehicle Emissions. *Environmental Science & Technology*, 37(17), 3739-3746. doi: 10.1021/es0263588
- Koupal, John, Michaels, Harvey, Cumberworth, Mitch, Bailey, Chad, & Brzezinski, Dave. (2002). EPA's Plan for MOVES: A Comprehensive Mobile Source Emissions Model.

Paper presented at the Proceedings of the 12th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, CA.

- Krakutovski, Z. (2004). Améliorations de l'approche démographique pour la prévision à long terme de la mobilité urbaine, Thèse Université Paris, Paris, France
- Larsen J, El-Geneidy A, Yasmin F. Beyond the quarter mile: Re-examining travel distances by active transportation. *Canadian Journal of Urban Research, Canadian Planning and Policy Supplement* 19 (1): 70-88, 2010.
- Laurikko, J. K. (1997). Exhaust emissions from motor vehicles in low ambient temperature conditions. *International Journal of Vehicle Design*, 18(3-4), [d] 280-292.
- Laurikko, Juhani (1998). On exhaust emissions from petrol-fuelled passenger cars at low ambient temperatures. (Doctor of Technology), Helsinki University of Technology, Espoo.
- Lave, Lester, MacLean, Heather, Hendrickson, Chris, & Lankey, Rebecca. (2000). Life-Cycle Analysis of Alternative Automobile Fuel/Propulsion Technologies. *Environmental Science & Technology*, 34(17), 3598-3605. doi: 10.1021/es991322+
- Lawson, Douglas R. (1993). "Passing the Test" – Human Behavior and California's Smog Check Program. *Air & Waste*, 43(12), 1567-1575. doi: 10.1080/1073161X.1993.10467226
- Lee, J.G., Han, J., & Whang, K.Y. (2007). Trajectory clustering: a partition-and-group framework. Communication présentée à Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data (p. 593-604).
- Leung, D. Y. C., & Williams, D. J. (2000). Modelling of Motor Vehicle Fuel Consumption and Emissions Using a Power-Based Model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 65(1), 21-29. doi: 10.1023/A:1006498328936
- Levinson, D, Kumar, A. (1996). Activity, travel, and the allocation of time. *Journal of the American Planning Association*, 61(4), 458-470.
- Litman T. (2006). Evaluating Transportation Equity : Guidance For Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning. <http://www.vtpi.org/equity.pdf>.
- Litman T. *The future isn't what it used to be*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, 2013.
- Litman, T. (2008). Well Measured. Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning. Victoria transport policy institute, <http://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>
- Manners-Bell J, Lyon K. *The implications of 3D printing for the global logistics industry*. Transport Intelligence Ltd, Brinkworth, Grande-Bretagne, 2012.
- Martel-Poliquin, E. (2012). Mieux comprendre les déterminants du choix modal (mémoire de maîtrise inédit). École Polytechnique de Montréal.
- McGuckin N, Lynott J. *Impact of baby boomers on U.S. travel, 1969 to 2009*. AARP Public Policy Institute, Insight on the issues, Washington, D.C., 2012.

- McGuckin N, Nakamoto Y. Differences in trip chaining by men and women. Dans: Transportation Research Board, *Research on women's issues in transportation. Report of a conference. Volume 2: Technical papers*, pp. 49-58, 2005.
- McGuckin N. Summary of travel trends 1969 to 2009. Travel Behavior Associates. 2011. Disponible à: <http://www.travelbehavior.us/Nancy-pdfs/Summary%20of%20Travel%20Trends%201969%20to%202009.pdf>
- Mercado R, Paez A. *Aging, gender, and neighbourhood determinants of distance traveled: A multi level analysis in the Hamilton CMA*. Centre for Spatial Analysis/School of Geography and Earth Sciences, McMaster University, Hamilton, 2007.
- Metz D. Saturation of demand for daily travel. *Transport Reviews* 30 (5): 659-674, 2010.
- Milachowski, C., Stengel, T., & Gehlen, C. (2011). Life cycle assessment for road construction and use. *Carreteras*, 4(179), 48-62.
- Millard-Ball, A. (2013). Too Many Trips? Problems with Trip Generation in Theory and Practice. Communication présentée à Transportation Research Board 92nd Annual Meeting
- 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.
- Morris J, Roddis S, Spiridonos F. Women's changing role: implications for the transport task and for modelling personal travel patterns. *Australasian Transport Research Forum 2010 Proceedings*, Canberra, 2010.
- Murshed, Delwar. (2010). Estimating Greenhouse Gases from Roadway Transportation-Methodology Overview, Kunming, China.
- Nelson AC. Leadership in a new era: Comment on planning leadership in a new era. *Journal of the American Planning Association* 72 (4): 393-409, 2006.
- Newman P, Kenworthy J. "Peak car use": Understanding the demise of automobile dependence. *World Transport Policy and Practice* 17: 31-42, 2011.
- Nicolas, Jean-Pierre, Pochet, Pascal, Poimboeuf, Hélène, Ovtracht, Nicolas (2001). Indicateurs de mobilité durable : application à l'agglomération de Lyon. Recherche Let-Apdd initiée dans le cadre d'un financement Renault. Lyon : LET. 2001. 127 p. (Etudes et Recherches, n°16). <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00098263/fr/>
- Nicolas, Jean-Pierre, Pochet, Pascal, Poimboeuf, Hélène. (2002) Mobilité urbaine et développement durable : quels outils de mesure pour quels enjeux ?. *Cahiers Scientifiques du Transport*. 2002. n°41. pp.53-75. <http://www.afitl.com/CST/precedents-numeros/N41/NIPOPO41.pdf>. Nicolas et al. 2001 et 2002
- Ntziachristos, Leonidas, & Samaras, Zissis. (2000). Speed-dependent representative emission factors for catalyst passenger cars and influencing parameters. *Atmospheric Environment*, 34(27), 4611-4619. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00180-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00180-1)
- Office de l'efficacité énergétique. *Secteur des transports – Québec. Tableaux 1 à 37*. Ressources naturelles du Canada, Ottawa 2011.

- Ortuzar, J.D et Willumsen L.G (2011). Modal split and direct demand models. Dans *Modelling transport*. (4e édition, p.207-225). Oxford : Wiley-Blackwell
- Oswald, M., & McNeil, S. (2010). Rating Sustainability: Transportation Investments in Urban Corridors as a Case Study. *Journal of Urban Planning and Development*, 136(3), 177-185. doi: doi:10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000016
- Papageorgiou, M. (1995). An integrated control approach for traffic corridors. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3(1), 19-30. doi: 10.1016/0968-090x(94)00012-t
- Park, B., & Malakorn, J. (2013). Life Cycle Assessment on Cooperative Vehicle Infrastructure Systems. Communication présentée à TRB.
- Pearce F. End of the road for motormania. *New Scientist* 2825, August 16, 2011.
- Pépin, F. (2012). Mobilité quotidienne des enfants : déterminants, caractéristiques et évolution Maîtrise, Polytechnique de Montréal, Montréal
- 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
- Polzin S, Chu X, McGuckin N. Exploring changing travel trends, presented at *Using National Household Travel Survey Data for Transportation Decision Making: A Workshop*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2011.
- Post, K., Kent, J. H., Tomlin, J., & Carruthers, N. (1984). Fuel consumption and emission modelling by power demand and a comparison with other models. *Transportation Research Part A: General*, 18(3), 191-213. doi: 10.1016/0191-2607(84)90126-2
- Prével Urbain. *Lowney sur ville*. Consulté le 21 avril 2013, Tiré de <http://www.lelowney.ca/fr/index.php>
- Priemus, H., & Zonneveld, W. (2003). What are corridors and what are the issues? Introduction to special issue: the governance of corridors. *Journal of Transport Geography*, 11(3), 167-177. doi: 10.1016/s0966-6923(03)00028-0
- Primerano, F, Taylor, M. A. P., Pitaksringkarn, L, Tisato, P. (2007). Defining and understanding trip chaining behavior. *Transportation*, 35 (1), 55-72.
- Rao, Z.H., Zhang, P., & Guan, J.P. (2011). Urban Traffic Corridors Determination Based on Characteristics of OD Data-Nanning City as an Example. *Advanced Materials Research*, 403-408, 2445-2448. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.403-408.2445
- Reid Crowther & partners ltd. (2001). Multi-modal transportation study Horseshoe Bay to Highway 97. (Rapport no 34906-00). Burnaby BC,. Tiré de http://www.th.gov.bc.ca/Publications/reports_and_studies/multi-modal/Report.pdf.
- Reiss, R., Gordon, R., Neudorff, L., & Harding, J. (2006). Integrated Corridor Management Phase I concept Development and Foundational Research: Task 3.1 Develop Alternative Definitions. Washington D.C.: United States Department of Transportation.

- Rodrigue JP. *The geography of transport systems*. Hofstra University, New York, 2013. Disponible à : <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch2en/conc2en/ch2c5en.html> , accédé le 9 mai 2013.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2009). *Geography of Transport Systems*. Florence, KY, USA: Routledge.
- Romm, Joseph. (2006). The car and fuel of the future. *Energy Policy*, 34(17), 2609-2614. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.025>
- Salamati, Katayoun, Coelho, Margarida Cabrita, Fernandes, Paulo Jorge, Roupail, Nagui M, Frey, H Christopher, & Bandeira, Jorge. (2013). Emission Estimation at Multilane Roundabouts: Effect of Movement and Approach Lane. Paper presented at the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting.
- Samaras, Constantine, & Meisterling, Kyle. (2008). Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy. *Environmental Science & Technology*, 42(9), 3170-3176. doi: 10.1021/es702178s
- Samaras, Zissis, Zachariadis, Theodoros, Joumard, Robert, Vernet, Isabelle, Hassel, Dieter, Weber, Franz-Josef, & Rijkeboer, Rudolf. (1998). Alternative short tests for inspection and maintenance of in-use cars with respect to their emissions performance. *International Journal of Vehicle Design*, 20(1), 292-303.
- Santos A, McGuckin N, Nakamoto HY et al. Summary of travel trends: 2009 National Household Travel Survey. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, Washington D.C., 2011.
- Sivak M, Schoettle B. *Recent changes in the age composition of drivers in 15 countries*. University of Michigan Transportation Research Institute, UMTRI-2011-43, Ann Arbor, Michigan, 2011.
- Smart Growth America. City versus suburban growth in small metro areas. Analysis of U.S. Census data in Metropolitan Statistical Areas under one million people. Washington, D.C., 2012.
- Smith, S.A., National Cooperative Highway Research, P., American Association of State, H., Transportation, O., National Research Council. Transportation Research, B., & United States. Federal Highway, A. (1999). *Guidebook for transportation corridor studies : a process for effective decision-making*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL). Statistiques et données. Consulté le 21 avril 2013, Tiré de <http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/index.cfm>
- Statistique Canada. *Estimations démographiques*, Ottawa, 2010.
- Sullivan, J. L., Baker, R. E., Boyer, B. A., Hammerle, R. H., Kenney, T. E., Muniz, L., & Wallington, T. J. (2004). CO2 Emission Benefit of Diesel (versus Gasoline) Powered Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 38(12), 3217-3223. doi: 10.1021/es034928d

- Taylor, GW, & Patten, JD. (2006). Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption - Phase III (N. R. C. o. Canada, Trans.) (pp. 98): Transportation Association of Canada
- Tazul, I., Khandker M. N. H. (2012). Unraveling the relationship between trip chaining and mode choice: evidence from a multi-week travel diary, *Transportation Planning and Technology*, 35(4), 409-426
- The Economist. Nomads at last. A special report on mobility. April 12, 2008.
- The Economist. The future of driving. Seeing the back of the car. Sept. 22, 2012.
- The Economist. The sharing economy. All eyes on the sharing economy. March 9, 2013.
- The Week. The “sharing economy”: The next big business trend. April 20, 2012.
- TRB (2008). Sustainable Transportation Indicators : A Recommended Program To Define A Standard Set of Indicators For Sustainable Transportation Planning, Transportation Research
- TRB. (2008). FY 2009: Announcement of Transit Research Projects. Tiré de http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_fy2011ProjectAnnouncement.pdf.
- TRB. (2010). FY 2011: Announcement of Transit Research Projects. Tiré de http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_fy2011ProjectAnnouncement.pdf.
- U.S. Environmental Protection Agency. Federal and California Exhaust and Evaporative Emission Standards for Light-Duty Vehciles and Light-Duty Trucks (O. o. A. a. Radiation, Trans.). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- UITP (2007). Façonner demain dès aujourd'hui: La place donnée au développement durable dans le secteur du transport public 2005-7, Charte UITP du développement durable.
- Valiquette, F. (2010). Typologie des chaînes de déplacements et modélisation descriptive des systèmes d'activité des personnes (mémoire de maîtrise inédit). École Polytechnique de Montréal.
- Vallamsundar, Suriyapriya, & Lin, Jie (Jane). (2011). MOVES versus MOBILE, a Comparison of GHG and Criteria pollutant emissions. Paper presented at the 90th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.
- Van Wee, Bert, Moll, Henri C., & Dirks, Jessica. (2000). Environmental impact of scrapping old cars. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(2), 137-143. doi: 10.1016/s1361-9209(99)00030-9
- Vande Walle, S., Steenberghen, T. (2006). Space and time related determinants of public transport use in trip chains. *Transportation research part A*, Vol. 40 (2006). 151-162.
- Virginia Department of Transportation (2009). Implementing Activity-Based Models in Virginia. *VTM Research Paper*, 09 (01), 1-29.
- Wang, Haikun, Fu, Lixin, Lin, Xin, Zhou, Yu, & Chen, Jinchuan. (2009). A bottom-up methodology to estimate vehicle emissions for the Beijing urban area. *Science of The Total Environment*, 407(6), 1947-1953. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.11.008

- Washburn, Scott, Seet, Joseph, & Mannering, Fred. (2001). Statistical modeling of vehicle emissions from inspection/maintenance testing data: an exploratory analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(1), 21-36. doi: 10.1016/s1361-9209(00)00011-0
- Weilenmann, Martin F., Alvarez, Robert, & Keller, Mario. (2010). Fuel Consumption and CO2 Pollutant Emissions of Mobile Air Conditioning at Fleet Level - New Data and Model Comparison. *Environmental Science & Technology*, 44(13), 5277-5282. doi: 10.1021/es903654t
- Weilenmann, Martin F., Vasic, Ana-Marija, Stettler, Peter, & Novak, Philippe. (2005). Influence of Mobile Air-Conditioning on Vehicle Emissions and Fuel Consumption: A Model Approach for Modern Gasoline Cars Used in Europe. *Environmental Science & Technology*, 39(24), 9601-9610. doi: 10.1021/es050190j
- Weilenmann, Martin, Favez, Jean-Yves, & Alvarez, Robert. (2009). Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories. *Atmospheric Environment*, 43(15), 2419-2429. doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.02.005
- Welstand, J Steve, Haskew, Harold H, Gunst, Richard F, & Bevilacqua, Oreste M. (2003). Evaluation of the effects of air conditioning operation and associated environmental conditions on vehicle emissions and fuel economy. *SAE transactions*, 112(4), 1993-2006.
- Xu, Yaofang, Yu, Lei, & Song, Guohua (2010). Improved VSP-bins for light-duty vehicles for estimating CO2 emissions in Beijing. Paper presented at the 89th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.
- Yang, Y., Mao, B., Lingling, Y., Kun, Q., Jia, F., & Liu, M. (2010, 16-16 Oct. 2010). Types and characteristics analysis of integrated transportation corridors. Communication présentée à Transportation of China (AFTC 2010), 6th Advanced Forum on (p. 50-55). doi: 10.1049/cp.2010.1101
- Ye, X., Pendyala, R.M., Gottardi, G. (2007). An exploration of the relationship between mode choice and complexity of trip chaining pattern. *Transportation research part B*, vol. 41 (2007). 96–113.
- Younglove, Theodore, Scora, George, & Barth, Matthew. (2005). Designing on-road vehicle test programs for the development of effective vehicle emission models.
- Yu, B., & Lu, Q. (2013). Improved Pavement Maintenance Optimization Methodology: Integrating Life-Cycle Assessment and Life-Cycle Cost Analysis. Communication présentée à Transportation Research Board 92nd Annual Meeting.
- Yun M., Liu, J., Yang, X. (2011) *Modeling on mode choice behavior based on trip chaining: a case study in Zhongshan city*. Communication présenté à la ICCTP 2011: Towards Sustainable Transportation Systems - Proceedings of the 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals. Nanjing, China
- Zachariadis, T., Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2001). The effect of age and technological change on motor vehicle emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(3), 221-227. doi: 10.1016/s1361-9209(00)00025-0



- Zhao, Z., Chua, G., Zhao, J. (2012) *Evolution of trip chaining patterns in London from 1991 to 2010*. Communication présentée à la Innovations in travel modelling conference 2012. Tampa, Florida



8 Annexes

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

- Rapport financier et prévisions budgétaires
- Proposition de recherche Kinan Bahbouh
- Proposition de recherche Pierre-Léo Bourbonnais
- Mémoire de Félix Pépin
- Mémoire d'Éric Poliquin
- Mémoire d'Abdoulaye Diallo
- Mémoire de Sébastien Désilets
- Mémoire de Jason Demers



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)

