

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

*Rapport d'activités 2014-2015
Version préliminaire*





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

Rapport d'activités 2014-2015 – Version préliminaire

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, Pr Bilal Farooq
Hubert Verreault, Jean-Simon Bourdeau

Partenaires

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

Janvier 2018

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

Citation préférée: Chaire Mobilité (2018). Rapport d'activités 2014-2015, Version préliminaire, Polytechnique Montréal, 118 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 agrégé
Département des génies civil, géologique et des mines

Bruno Agard, professeur agrégé
Département de mathématiques et génie industriel

Bilal Farooq, professeur adjoint
Département des génies civil, géologique et des mines

Professionnels de recherche

Hubert Verreault, M.Sc.A, associé de recherche
Jean-Simon Bourdeau, M.Sc.A., associé de recherche

Étudiants

Pegah Nouri, doctorante
Kinan Bahbouh, doctorant
Hamzeh Alisadeh, doctorant
Farhana Yasmin, doctorante
Alexis Frappier, étudiant à la maîtrise
Oussama Saoudi Hassani, étudiant à la maîtrise



Table de matières

1	Introduction.....	6
1.1	Mission générale de la Chaire.....	6
1.2	Objectifs des travaux de la Chaire.....	6
1.3	Structure générale de la Chaire.....	7
1.3.1	Partenaires.....	7
1.3.2	Structure organisationnelle.....	7
1.4	Contenu du rapport.....	9
1.5	Cadre général de recherche.....	9
1.6	Formation de personnel hautement qualifié.....	12
1.7	Équipe de recherche actuelle et thématiques de recherche.....	13
2	Contributions aux méthodes d'enquête et à la valorisation des données.....	15
2.1	Potential du covoiturage.....	15
2.1.1	Introduction.....	15
2.1.2	Méthodologie.....	15
2.1.3	Résultats.....	17
2.1.4	Analyse de sensibilité.....	21
2.1.5	Conclusion.....	22
2.2	Portrait évolutif de l'utilisation des stationnements dans la grande région montréalaise.....	22
2.2.1	Introduction.....	22
2.2.2	Méthodologie.....	23
2.2.3	Résultats.....	25
2.2.4	Étude du park and ride.....	35
2.2.5	Conclusion.....	36
3	État d'avancement des thématiques spécifiques.....	38
3.1	Amélioration des méthodes d'estimation des émissions polluantes liées aux véhicules routiers – Les cycles de conduite.....	38
3.1.1	Introduction.....	38
3.1.2	Processus de développement des cycles de conduite : état des connaissances.....	39
3.1.3	Méthodologie.....	44
3.1.4	Résultats.....	49
3.1.5	Conclusion.....	52
3.2	Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport.....	53
3.2.1	Introduction.....	53
3.2.2	Identification des corridors de demande.....	53
3.2.3	Typologie des corridors de demande.....	55
3.2.4	Méthodologie.....	57



3.2.1	Conclusion	62
3.3	Segmentation de la population.....	64
3.3.1	Introduction.....	64
3.3.2	Contexte	64
•	Mesures externes	72
•	Mesures internes.....	72
3.3.3	Données et méthode de recherche	72
3.3.4	Contributions potentielles	74
3.4	Indicateurs de vulnérabilité en transport : une mesure de la diversité et de la qualité des alternatives de déplacement	75
3.4.1	Introduction.....	75
3.4.2	Revue de littérature	76
3.4.3	Point de vue passagers.....	78
3.4.4	Méthodologie	80
3.4.5	Étude de cas.....	85
3.4.6	Conclusion	87
3.5	Attributs qui influencent les choix d'itinéraire des conducteurs.....	88
3.5.1	Revue de la littérature	90
3.5.1	Méthodologie, avancement, et les résultats attendus.....	98
4	Rayonnement	105
4.1	Publications et participation à des conférences	105
4.1.1	94th Annual Meeting of the Transportation research board (janvier 2015, Washington D.C.).....	105
4.1.2	AQTR 2015 - 50 ^e Congrès annuel de l'Association québécoise des transports (Montréal, mars 2015)	105
4.1.3	10th ISCTSC (International Conference on Transport Survey Methods)	106
4.2	Autres activités de rayonnement de la titulaire Catherine Morency.....	106
4.2.1	Participation à des comités	106
4.2.2	Conférences.....	106
4.2.3	Entrevues.....	106
5	Références.....	108



Liste des figures

Figure 1. Schéma illustrant le cadre conceptuel du programme de recherche de la Chaire Mobilité.....	11
Figure 2. Illustration des unités spatiales et temporelles.....	16
Figure 3. Procédure de jumelage des déplacements.....	17
Figure 4. Impact de la variation de la superficie de l'US sur le taux d'occupation des véhicules.....	21
Figure 5. Impact de la variation de l'UT sur le taux d'occupation moyen des véhicules.....	22
Figure 6. Secteurs municipaux de l'enquête OD où la question sur le type de stationnement au lieu de destination a été posée.....	23
Figure 7. Méthodologie de construction du profil d'accumulation de véhicules (PAV).....	24
Figure 8. PAV longitudinal du secteur municipal du Plateau-Mont-Royal.....	25
Figure 9. PAV du secteur du Plateau-Mont-Royal dérivé de l'enquête OD de 2008 du stationnement sur rue gratuit par jour de la semaine.....	26
Figure 10. Secteurs municipaux sélectionnés pour l'analyse de l'utilisation du stationnement à l'aide des données des enquêtes OD de 1998, 2003 et 2008.....	27
Figure 11. Représentation spatiale de l'évolution du stationnement dans la GRM entre 1998 et 2008: nombre de véhicules (a), capacité théorique de stationnement (b), nombre de véhicules immobiles (c) et durée moyenne de stationnement (d).....	29
Figure 12. Évolution de la capacité théorique de stationnement (a), du pourcentage de véhicules immobiles (b) et de la durée moyenne de stationnement (c) entre 1998 et 2008.....	31
Figure 13. Relation entre le pourcentage de véhicules et la motorisation des ménages.....	32
Figure 14. Évolution des capacités théoriques de stationnement entre 1998 et 2008 par type, dans la partie centrale de l'île de Montréal.....	35
Figure 15. PAV des stationnements incitatifs dans la GRM.....	36
Figure 16. Procédure générale de développement des cycles de conduite.....	40
Figure 17. Patron SAFD global.....	46
Figure 18. Patron moyen SAFD de la catégorie de microtrips « Congestion ».....	46
Figure 19. Patron moyen SAFD de la catégorie de microtrips « Écoulement libre ».....	47
Figure 20. Segmentation des microtrips selon la méthode de classification EM sur les profils d'accélération.....	49
Figure 21. Distribution des durées de microtrips selon différentes méthodes d'identification.....	50
Figure 22. Corridors entre des unités prédélimitées.....	54
Figure 23. Différents types de corridor de demande.....	56
Figure 24. Déplacements (lignes de désire) ayant utilisé le train Deux-Montagnes le matin.....	57
Figure 25. Identification et analyses des corridors interzonaux.....	59
Figure 26. Corridors-segments.....	60
Figure 27. Corridors convexes.....	62
Figure 28. Principales étapes de l'analyse de classification.....	66
Figure 29. Classification d'objets à l'aide de l'algorithme de k-moyenne (Ishaq, 2011).....	69
Figure 30. Méthode d'agrégation agglomérative hiérarchique (HAC) (Mueller, 2005).....	70
Figure 31. Méthode d'agrégation agglomérative hiérarchique a. Association simple, b. Association complète et c. Association moyenne (Mulvey & Gingold, 2008).....	70
Figure 32. Groupement à l'aide d'une méthode de groupement par voisinage a. arbre en étoile sans structure hiérarchique et b. arbre dans lequel les voisins 1 et 2 sont agrégés (Saitou & Nei, 1987).....	71
Figure 33. Cadre méthodologique pour la segmentation de la population à l'aide d'une approche de segmentation (clustering).....	73
Figure 34. Méthode menant au calcul des deux indicateurs de diversité et de qualité.....	81
Figure 35. Illustration des indicateurs de directitude.....	83
Figure 36. 10 paires Origine-Destination ayant comme destination Polytechnique.....	85
Figure 37. Résultats du calcul des indicateurs de qualité et diversité selon différents paramètres.....	86
Figure 38. Facteurs influant sur le comportement de déplacement (Bovy & Stern, 1990).....	91
Figure 39. Les avantages et inconvénients de la collecte de données GPS par rapport aux données obtenues à partir des carnets de voyage.....	96
Figure 40. Résumé des modèles de choix discrets pour le choix d'itinéraire.....	98
Figure 41. Ponts reliant Montréal et Laval.....	99



Figure 42. Structure interne de la base de données	100
Figure 43. Carte de chaleur des origines et destinations des déplacements entre Montréal et Laval	100
Figure 44. Routes reconstruites à partir des données GPS.....	101
Figure 45. Alternatives dérivées pour une paire OD.....	101



Liste des tableaux

Tableau 1. Taux d'occupation moyen des véhicules dans la région de Montréal (OD 2013).....	17
Tableau 2. Taux d'occupation moyen et impact du jumelage sur le nombre de déplacements AC nécessaire pour le scénario 1	18
Tableau 3. Taux d'occupation moyen et impact du jumelage sur le nombre de déplacements AC nécessaire pour le scénario 2	19
Tableau 4. Taux d'occupation moyen et impact du jumelage sur le nombre de déplacements AC nécessaire pour le scénario 2	20
Tableau 5. Critères d'évaluation.....	47
Tableau 6. Séquence de catégories de microtrips identifiée à l'aide de la matrice de transition et du processus de Markov (CL pour cluster) - exemple basé sur une catégorisation en 7 groupes	48
Tableau 7. Différences entre les valeurs moyennes (toute la base de données) et les valeurs obtenues de chaque méthode.....	51
Tableau 8 – Variables et objets	67
Tableau 9. Échantillon de données pour l'application de la méthode d'alignement séquentiel	73
Tableau 10. Attentes du panel STM vis-à-vis du métro	79
Tableau 11. Attentes du panel STM vis-à-vis du bus.....	79
Tableau 12. perceptions des Longueillois	80
Tableau 13. Facteurs influant sur les décisions de choix d'itinéraire (Jan et al., 2000).....	91
Tableau 14. Résumé des recherches sur les facteurs influant sur les choix d'itinéraire	92
Tableau 15. Description des ponts reliant Montréal et Laval (Habib et al., 2013).....	99



1 Introduction

1.1 Mission générale de la Chaire

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

1.2 Objectifs des travaux de la Chaire

L'intérêt de mettre sur pied une Chaire de recherche sur les méthodes et l'information qui assistent l'évaluation des stratégies de transport, dans un contexte de durabilité, est confirmée par les enjeux pressants de reddition des comptes auxquels font face les intervenants en transport. La définition des concepts de transport et mobilité durable ainsi que d'indicateurs permettant d'en évaluer les différents aspects sont d'ailleurs au cœur de plusieurs discussions et travaux de recherche au niveau international (Litman 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 à la vision de transport durable en milieu urbain. Globalement, la Chaire de recherche a comme objectif principal de doter les intervenants de mécanismes d'évaluation leur permettant d'apprécier, quantitativement, les impacts des différents choix de transport en vue de décider et d'agir en conformité avec les visions actuelles de développement durable.

Cette aspiration implique différentes tâches et objectifs spécifiques:

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



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

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

1.3 Structure générale de la Chaire

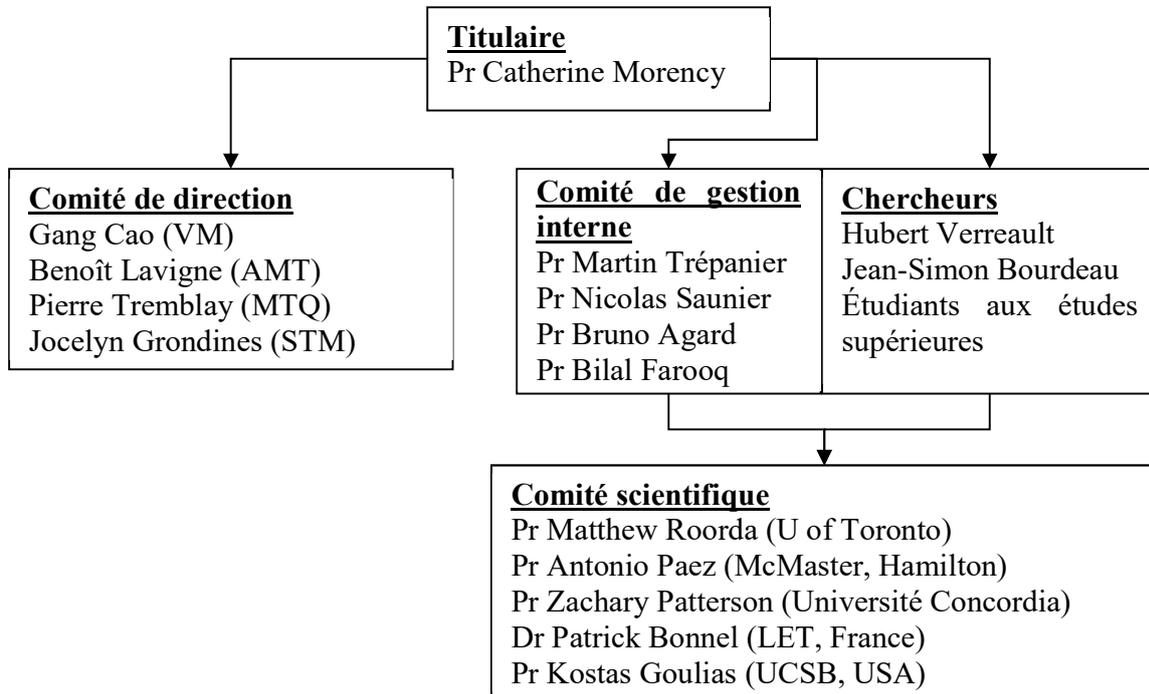
1.3.1 Partenaires

Les partenaires qui participent actuellement aux activités de la Chaire Mobilité (mandat 1) 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, pour l'année 2014-2015, est schématisée à la figure suivante et comprend trois comités ainsi que différents chercheurs et étudiants d'études supérieures.



- 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: Gang Cao
 - 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 Zachary Patterson (depuis juin 2013) : Département de géographie, planification et environnement, Faculté des arts et des sciences, Université Concordia (Montréal, Canada)
- 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 :
 - **Hubert Verreault**, a un baccalauréat en génie civil et une maîtrise en transport de Polytechnique 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 au développement méthodologique ainsi qu'à l'analyse des thématiques abordées dans la Chaire.
 - **Jean-Simon Bourdeau**, a un baccalauréat en génie civil et une maîtrise en transport de Polytechnique Montréal. Il est chargé de laboratoire à Polytechnique et assure le développement de procédures automatisées et l'exploitation systématique de données.

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 cinquième et dernière année du premier mandat de la Chaire (période de mai 2014 à avril 2015). Plusieurs étudiants ont maintenant finalisé leur projet de recherche (maîtrise, doctorat) et les mémoires et thèses, disponibles sur le site de Polytechnique – la référence est donnée ci-dessous – constituent le témoignage détaillé de leur travail. Le rapport est structuré comme suit. Le cadre général de recherche de la Chaire est d'abord rappelé et la liste des étudiants gradués et actuellement impliqués dans les travaux de la Chaire est fournie. Le second chapitre propose différents éléments en liens avec les méthodes d'enquêtes. Un modèle de choix de pont, comme élément clé du choix du trajet routier, est présenté ainsi que certaines analyses préliminaires et perspectives sur la valorisation des données de l'enquête en continu. Une démonstration de l'exploitation de données portant sur le type de stationnement est ensuite proposée. Le Chapitre 3 présente l'état d'avancement des différentes thématiques de recherche abordées par les étudiants et chercheurs. Le Chapitre 4 résume finalement quelques activités de rayonnement tenues par les chercheurs de la Chaire. Il est à noter que le rapport financier est rendu disponible dans un document séparé, pour les bénéficiaires des partenaires.

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 (Figure 1) 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. Les activités de la Chaire visent à faire quatre grands types de contributions, les deux premiers étant dominants:

- Contributions analytiques : contribuer à mieux comprendre, décrire, expliquer et modéliser des comportements, des tendances, estimer des indicateurs, faire des diagnostics, identifier des facteurs déterminants, etc.
- Contributions méthodologiques : développer des outils d'analyse, expérimenter des méthodes statistiques, développer des fonctions automatisées, etc.
- Formulation de scénarios: formuler des scénarios et estimer leurs impacts potentiels (potentiel de la marche ou mutualisation complète des automobiles par exemple);
- Contributions à l'opérationnalisation : contribuer aux pratiques, aux discussions, identifier les mécanismes de transfert et d'implantation, identifier les leviers d'action des partenaires;

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.

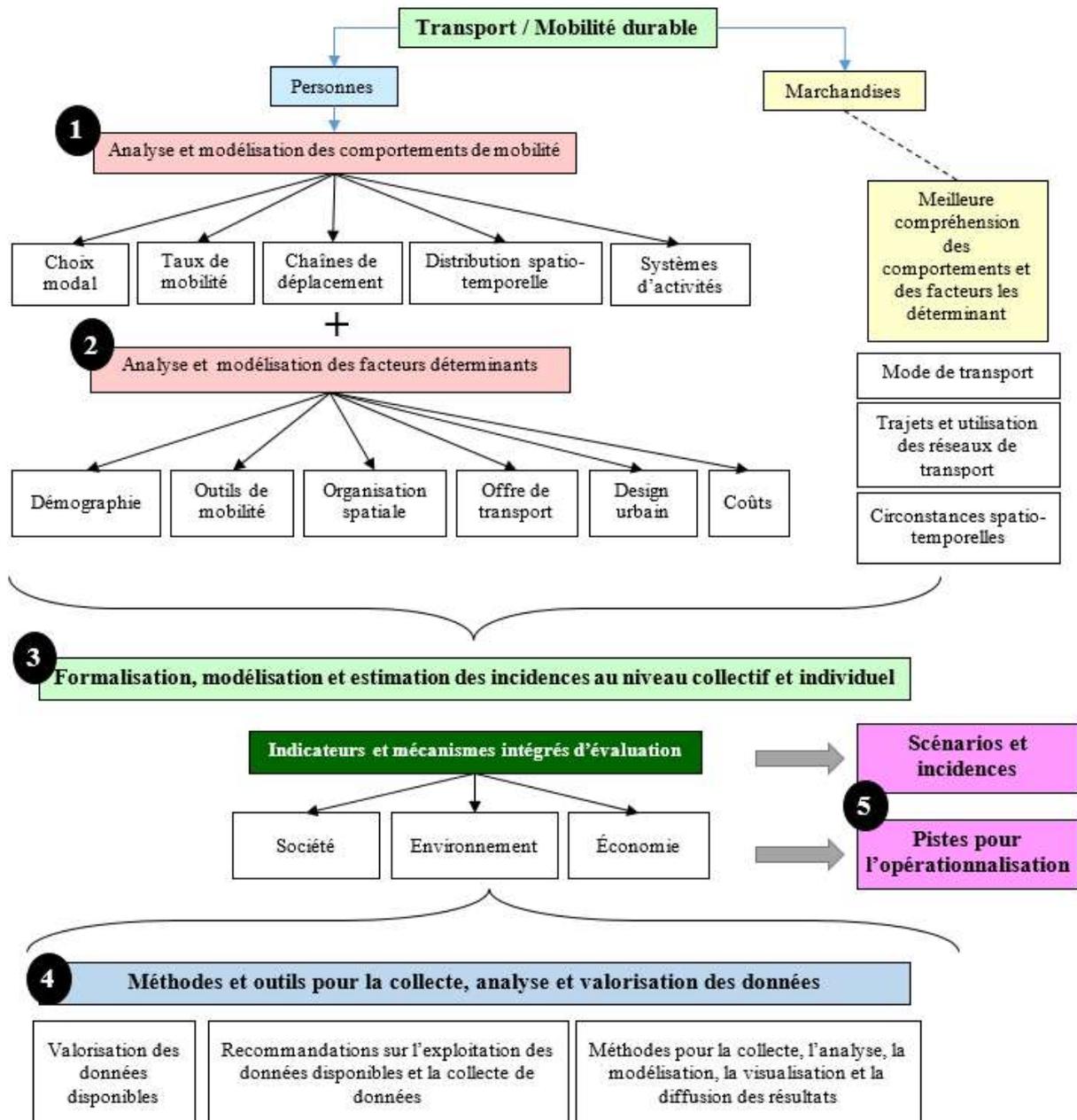


Figure 1. Schéma illustrant le cadre conceptuel du programme de recherche de la Chaire Mobilité



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 et doctorat. Les projets de recherche suivants ont été déposés et acceptés par des jurys :

Saoudi Hassani, Oussama (2015). Mobilité des travailleurs et scénarios de gestion des déplacements faits en automobile, Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, http://publications.polymtl.ca/1762/1/2015_OussamaSaoudiHassani.pdf

Sicotte, Gabriel (2014). Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et chaînes de déplacements, Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, http://publications.polymtl.ca/1657/1/2014_GabrielSicotte.pdf

Sioui, Louiselle (2014). Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes et outils, thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal, http://publications.polymtl.ca/1530/1/2014_LouiselleSioui.pdf

Bourdeau, Jean-Simon (2014). Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, http://publications.polymtl.ca/1529/1/2014_JeanSimonBourdeau.pdf

Théberge-Barrette, Christine (2013). Modéliser l'impact de la construction résidentielle sur la demande de déplacements. M.Sc.A en génie civil, École Polytechnique de Montréal., http://publications.polymtl.ca/1322/1/2013_ChristineThebergeBarrette.pdf

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). http://publications.polymtl.ca/523/1/2011_FrancoisGodefroy.pdf

1.7 Équipe de recherche actuelle et thématiques de recherche

Deux associés de recherche sont impliqués dans les activités de recherche, en plus de cinq professeurs chercheurs : Martin Trépanier, Nicolas Saunier, Bruno Agard, Bilal Farooq et Catherine Morency. Il s'agit d'Hubert Verreault et Jean-Simon Bourdeau, tous deux diplômés en génie civil de l'École Polytechnique de Montréal et d'une maîtrise recherche en transports de Polytechnique.

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 :

- **Pegah Nouri** (doctorat, début : janvier 2011, fin : décembre 2015). Contributions aux méthodologies d'estimation des GES des déplacements motorisés. Direction : Pre Catherine Morency.

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, début : Janvier 2012, fin : décembre 2016). Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport. Direction : Pre Catherine Morency et Pre Chantal Berdier (INSA, Lyon)

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 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, début : mai 2010, fin: avril 2016). Amélioration des modèles de prévision de la demande de transport grâce aux modèles d'activités. Direction : Pre Catherine Morency et Pr Matthew Roorda (Université de Toronto).

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. Farhana Yasmin 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. Ses activités de recherche sont en partie effectuées dans le cadre du mandat de recherche de la Chaire.

- **Hamzeh Alizadeh** (doctorat, début: septembre 2012, fin prévue : août 2017). Application de méthodes de classification pour mieux comprendre et modéliser les comportements de choix des itinéraires routiers. Direction : Pr Nicolas Saunier, Pre Catherine Morency et Pr Bilal Farooq.

Hamzeh Alizadeh détient un baccalauréat en génie civil de l'Imam Khomeini International University, Ghazvin, Iran. Il a ensuite fait la maîtrise en génie des transports (département de génie civil) de la Sharif University of Technology de Téhéran (Iran). Il est actuellement doctorant sous la codirection des professeurs Nicolas Saunier, Catherine Morency et Bilal Farooq. Ses activités de recherche sont en partie effectuées dans le cadre du mandat de recherche de la Chaire.

- **Alexis Frappier** (maîtrise, fin: décembre 2015). Indicateur de qualité et diversité des alternatives de transport en commun. Direction : Pre Catherine Morency et Pr Martin Trépanier

Alexis Frappier effectue un Double Diplôme avec une école d'ingénieur généraliste en France, l'Ecole Centrale Marseille, où il a débuté. Il a effectué un stage à l'été 2013 dans un bureau d'étude français, Egis, sur le projet de prolongation de la ligne b du métro de Rennes (France). Il a commencé sa maîtrise à L'Ecole Polytechnique Montréal (ÉPM) en janvier 2014 sous la direction de la Pre Catherine Morency et Pr Martin Trépanier. Son projet s'inscrit dans le cadre de la mobilité durable sous la sphèresocial par le développement d'un indicateur permettant de mesurer la qualité et la diversité des alternatives de déplacements offertes aux usagers.

- **Pierre-Léo Bourbonnais** (doctorat, début : janvier 2012, fin: avril 2016). Outil intégré de collecte, d'analyse et de visualisation de données de mobilité. Direction : Pre Catherine Morency.

Après avoir terminé un baccalauréat en génie mécanique à l'École Polytechnique, Pierre-Léo Bourbonnais a complété ses études en transport (Baccalauréat-maîtrise intégré avec maîtrise en génie civil/transport) et le passage accéléré au doctorat. L'objectif principal de ses études est d'intégrer plusieurs connaissances (design web, programmation, gestion de bases de données) au sein d'un même projet de recherche. Ses qualités de chercheur, entre autres, sa capacité de synthèse et sa facilité à réaliser des tâches dans différents domaines avec rigueur et ponctualité l'ont conduit à s'investir dans cette spécialisation. Le transport est un de ces domaines dont les phases de recherches ont fort à gagner de l'intégration accrue de la collecte, de l'analyse et de la diffusion des données grâce à des outils technologiques dont il maîtrise plusieurs aspects.



2 Contributions aux méthodes d'enquête et à la valorisation des données

2.1 Potentiel du covoiturage

2.1.1 Introduction

Parmi les stratégies de réduction des impacts négatifs de l'utilisation des automobiles dans la mobilité quotidienne, plusieurs d'entre elles visent à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'automobile. Une de ses stratégies consiste à viser l'augmentation des taux d'occupation des véhicules. Néanmoins, les stratégies proposées afin d'augmenter le nombre de covoitureurs, telles que les voies réservées à occupation multiple ou le partage des voies réservées pour autobus, peuvent aussi engendrer une migration des utilisateurs TC vers l'automobile. Dans ce contexte, il est pertinent de se questionner sur le potentiel de covoiturage au niveau macro, ainsi que la source de celui-ci dans un contexte urbain. L'augmentation du covoiturage n'a pas nécessairement de raison d'être si elle engendre une augmentation des déplacements Auto-Conducteurs (AC) à l'échelle d'une région.

2.1.2 Méthodologie

La méthodologie proposée dans ce travail se base principalement sur les données de l'enquête OD 2013 de la région de Montréal. Pour fins d'estimation, trois sous-ensembles de déplacements ont été extraits de la base de données.

- SS1 : Déplacements Auto-Conducteur (AC) seulement
- SS2 : Déplacements Auto-Conducteur (AC) et Auto-Passager (AP)
- SS3 : Déplacements Auto-Conducteur (AC), Auto-Passager (AP) et Transport en commun (TC)

Afin d'estimer le potentiel de covoiturage à partir de ces données, une série de critères est appliquée séquentiellement aux sous-ensembles de données afin de déterminer si des déplacements peuvent se réaliser en covoiturage à la place de leur mode initial. Il est à souligner que seul le potentiel de covoiturage point à point est estimé dans le cadre de ce travail. L'objectif principal de cette méthodologie est de déterminer le nombre d'automobiles nécessaire et les possibles taux d'occupation des véhicules si l'ensemble des déplacements sélectionnés étaient effectués en automobile (comme conducteur ou comme passager).

Les critères sélectionnés afin de jumeler les déplacements se basent sur la distance acceptable de marche -pour trouver un covoitureur et sur les heures de départ des déplacements. La méthode consiste donc à jumeler des déplacements qui ont des origines et des destinations compatibles ainsi que des heures de départs similaires. Les principaux paramètres utilisés sont les suivants et sont illustrés à la Figure 2:

- Unité spatiale (US) : La région de Montréal a été segmentée en cellules rectangulaires à l'aide d'une grille. La taille des cellules peut varier de 100 m à 2000 m de largeur selon le choix effectué. La taille de la cellule représente la distance maximale qu'une personne accepte de marche afin d'être jumelée à une autre personne.
- Unité temporelle (UT) : Les heures de départs des déplacements sont assignées à un intervalle temporel variant de 10 min à 120 min selon le choix effectué. Deux

déplacements seront considérés compatibles si leurs heures de départ sont dans le même intervalle.

- Taux d'occupation maximal (TOM) : Le taux d'occupation maximal des véhicules représente le nombre maximum de personnes (incluant le chauffeur) pouvant covoiturer dans un véhicule. La capacité peut varier de 2 à 7 personnes selon le choix effectué et est fixe pour l'ensemble des véhicules d'une simulation.

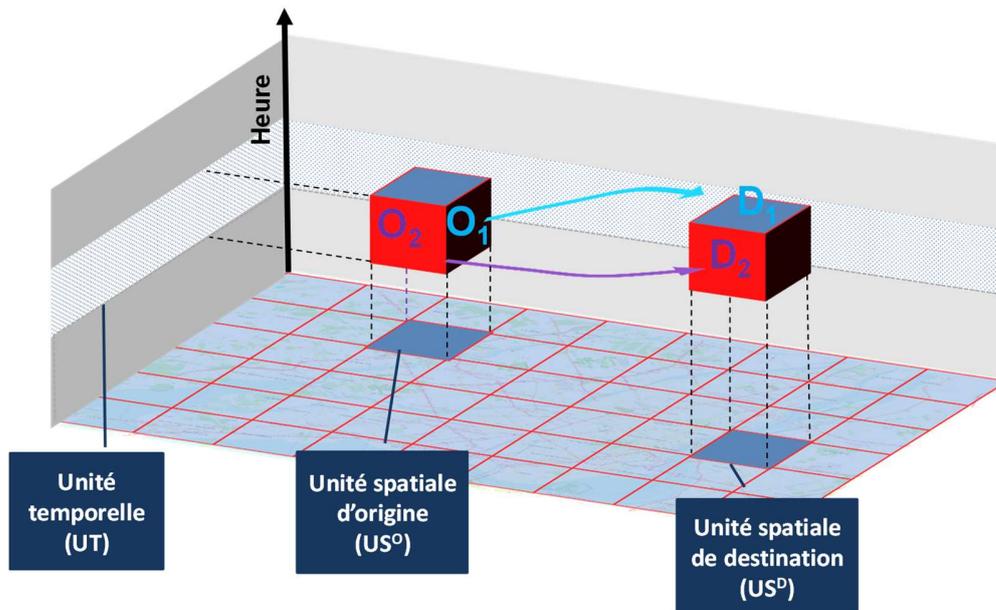


Figure 2. Illustration des unités spatiales et temporelles

Tous les scénarios d'estimation requièrent la spécification des données entrantes ainsi que les trois paramètres précédemment énoncés. La procédure utilisée est la suivante et est illustrée à la Figure 3.

1. Extraction d'un sous-ensemble de données de déplacements ;
2. Affectation pour chacun des déplacements d'une unité spatiale d'origine (US_O) ainsi qu'une unité spatiale de destination (US_D) ;
3. Affectation d'une unité temporelle (UT) pour chaque heure de départ des déplacements ;
4. Chacun des déplacements est donc caractérisé par deux unités spatiales et une unité temporelle (UST). Les déplacements sont compilés en fonction de leur UST afin de déterminer le nombre de déplacements ayant le même UST ;
5. Le nombre de véhicules nécessaires afin d'accueillir l'ensemble du sous-ensemble de déplacements est calculé en divisant le nombre total de déplacements par STU par le taux maximal d'occupation (TOM) des véhicules ;

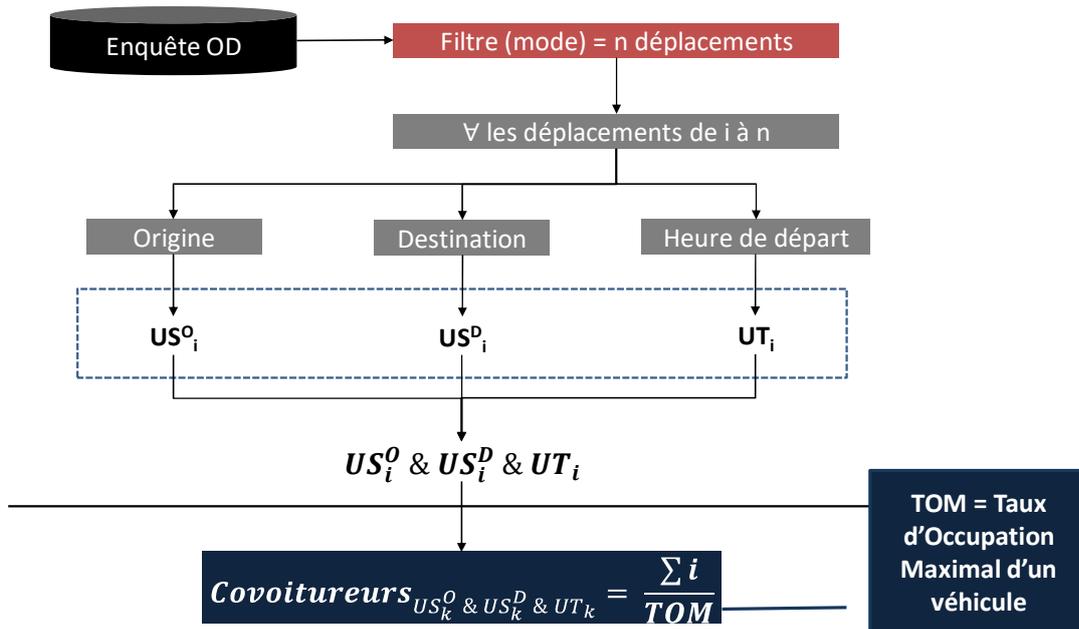


Figure 3. Procédure de jumelage des déplacements

La procédure estime, pour chaque scénario, le nombre de véhicules nécessaires ainsi que le taux d'occupation moyen des véhicules en fonction des paramètres choisis.

2.1.3 Résultats

Taux d'occupation actuel

Les taux d'occupation des véhicules actuels dans la région de Montréal varient énormément selon l'origine et la destination. Le Tableau 1 représente les taux moyens d'occupation pour un jour ouvrable.

Tableau 1. Taux d'occupation moyen des véhicules dans la région de Montréal (OD 2013)

Région	ID	Taux d'occupation								Global
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Centre-ville	1	1.32	1.26	1.20	1.19	1.17	1.13	1.19	1.17	1.22
Montréal-Centre	2	1.23	1.29	1.23	1.22	1.12	1.19	1.14	1.13	1.25
Montréal-Est	3	1.18	1.23	1.32	1.11	1.05	1.15	1.13	1.10	1.25
Montréal-Ouest	4	1.17	1.23	1.13	1.27	1.11	1.12	1.08	1.15	1.24
Rive-sud proche	5	1.18	1.12	1.06	1.10	1.27	1.10	1.13	1.17	1.23
Laval	6	1.13	1.19	1.16	1.12	1.10	1.29	1.12	1.20	1.24
Couronne nord	7	1.18	1.14	1.13	1.07	1.13	1.12	1.23	1.16	1.21
Couronne sud	8	1.16	1.13	1.09	1.15	1.16	1.21	1.16	1.23	1.21
Global		1.21	1.25	1.25	1.23	1.23	1.24	1.21	1.21	1.23

Le taux d'occupation global des véhicules est de 1.23 personnes par automobile. Les taux globaux varient très peu selon les secteurs d'origine ou de destination. On remarque également que les



taux d'occupation pour les déplacements internes sont plus élevés. Ces déplacements incluent souvent les déplacements de type familial (Reconduire et Aller chercher quelqu'un). Les taux d'occupation des véhicules dont l'origine et la destination se situent sur l'île de Montréal sont aussi plus élevés. Ces taux d'occupation actuels représentent la situation de référence des scénarios 2 et 3 présentés dans la prochaine section.

Expérimentations

En se basant sur la méthodologie précédemment énoncée, trois expérimentations ont été effectuées en variant les différents paramètres précédemment énoncés.

1. Données SS1, SU = 1km, TU = 1 heure, TOM = 4
2. Données SS2, SU = 1km, TU = 1 heure, TOM = 4
3. Données SS3, SU = 1km, TU = 1 heure, TOM = 4

La méthode permet d'estimer le nombre de véhicules nécessaires afin de déplacer l'ensemble des personnes ainsi que les taux moyens d'occupations des véhicules. Les résultats sont présentés sous forme de matrice OD.

Scénario 1

Dans le premier scénario, seuls les déplacements Auto-Conducteur sont utilisés et les déplacements Auto-Passagers actuels sont négligés. L'objectif est donc de déterminer le potentiel de jumelage des auto-conducteurs actuels. Les résultats sont présentés au Tableau 2.

Tableau 2. Taux d'occupation moyen et impact du jumelage sur le nombre de déplacements AC nécessaire pour le scénario 1

ID			1	2	3	4	5	6	7	8	Global
Centre-Ville	1	CO	1.40	1.13	1.04	1.05	1.05	1.02	1.02	1.02	1.10
		NC	-(28.3%)	-(11.9%)	-(3.7%)	-(4.9%)	-(4.6%)	-(2.3%)	-(1.7%)	-(2.2%)	-(9.3%)
Montréal-Centre	2	CO	1.14	1.20	1.07	1.05	1.01	1.02	1.01	1.01	1.13
		NC	-(12.4%)	-(16.9%)	-(6.6%)	-(4.8%)	-(0.8%)	-(1.6%)	-(0.8%)	-(0.7%)	-(11.4%)
Montréal-Est	3	CO	1.04	1.07	1.18	1.01	1.00	1.01	1.01	1.00	1.11
		NC	-(3.9%)	-(6.6%)	-(15.1%)	-(0.9%)	-(0.4%)	-(1.2%)	-(1.2%)	(0.0%)	-(9.6%)
Montréal-Ouest	4	CO	1.06	1.06	1.01	1.14	1.01	1.01	1.01	1.01	1.10
		NC	-(5.6%)	-(5.6%)	-(0.7%)	-(12.4%)	-(0.6%)	-(1.2%)	-(1.1%)	-(1.2%)	-(8.9%)
Rive-Sud proche	5	CO	1.06	1.01	1.00	1.00	1.14	1.00	1.01	1.02	1.10
		NC	-(5.5%)	-(0.8%)	-(0.3%)	-(0.5%)	-(12.2%)	(0.0%)	-(0.9%)	-(2.3%)	-(9.2%)
Laval	6	CO	1.04	1.02	1.00	1.02	1.00	1.11	1.02	1.01	1.08
		NC	-(3.4%)	-(2.1%)	-(0.4%)	-(1.7%)	-(0.4%)	-(10.3%)	-(1.5%)	-(0.6%)	-(7.0%)
Couronne nord	7	CO	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.02	1.11	1.00	1.09
		NC	-(1.8%)	-(1.1%)	-(1.2%)	-(0.8%)	-(0.4%)	-(1.7%)	-(9.5%)	-(0.4%)	-(8.0%)
Couronne sud	8	CO	1.04	1.01	1.01	1.02	1.03	1.00	1.01	1.14	1.11
		NC	-(3.8%)	-(0.6%)	-(0.9%)	-(1.7%)	-(2.6%)	(0.0%)	-(0.7%)	-(12.6%)	-(10.3%)
Global		CO	1.11	1.13	1.11	1.10	1.10	1.07	1.09	1.11	1.10
		NC	-(9.9%)	-(11.5%)	-(9.5%)	-(8.8%)	-(9.2%)	-(7.0%)	-(8.0%)	-(10.2%)	-(9.3%)

CO = Taux d'occupation, NC = Réduction ou augmentation (%) du nombre de déplacements AC
Déplacements AC, US = 1 km, UT = 1 heure, TOM = 4



Suite aux calculs, le taux d'occupation global des véhicules pour l'ensemble de la région augmente à 1.10 personnes par véhicule, comparativement à 1.00 pour la situation initiale. Cette hausse du taux d'occupation engendrerait une diminution de 9.3% des déplacements AC pour la région. Les plus forts potentiels de jumelage des déplacements se retrouvent principalement dans les déplacements intra zonaux, particulièrement pour le Centre-Ville (Taux = 1.40) où l'on pourrait observer une réduction de 28.3% des déplacements AC, soit environ 5000 déplacements de moins. En supposant que la demande demeure constante, il serait donc possible de réduire le nombre de déplacements AC nécessaire afin de répondre aux besoins en déplacements de la population.

Scénario 2

Dans le deuxième scénario, les déplacements Auto-Conducteurs et Auto-Passagers sont utilisés. L'objectif est donc de déterminer le potentiel de jumelage des déplacements en incluant les covoitureurs actuels. Les résultats sont présentés au Tableau 3.

Tableau 3. Taux d'occupation moyen et impact du jumelage sur le nombre de déplacements AC nécessaire pour le scénario 2

ID			1	2	3	4	5	6	7	8	Global
Centre-Ville	1	CO	1.63	1.30	1.13	1.17	1.15	1.08	1.14	1.11	1.24
		NC	-(18.3%)	-(2.6%)	(5.8%)	(1.8%)	(1.9%)	(4.1%)	(4.6%)	(5.2%)	-(1.2%)
Montréal-Centre	2	CO	1.30	1.43	1.24	1.20	1.09	1.14	1.09	1.09	1.31
		NC	-(5.0%)	-(9.4%)	-(0.4%)	(1.7%)	(3.2%)	(3.9%)	(4.4%)	(3.8%)	-(4.6%)
Montréal-Est	3	CO	1.14	1.24	1.45	1.07	1.03	1.11	1.10	1.06	1.30
		NC	(3.2%)	-(0.7%)	-(8.3%)	(3.5%)	(1.8%)	(3.9%)	(3.2%)	(2.9%)	-(3.6%)
Montréal-Ouest	4	CO	1.19	1.22	1.07	1.37	1.07	1.09	1.06	1.11	1.28
		NC	-(0.4%)	(0.5%)	(5.5%)	-(6.6%)	(3.5%)	(3.1%)	(2.0%)	(3.3%)	-(3.4%)
Rive-Sud proche	5	CO	1.18	1.09	1.04	1.07	1.37	1.07	1.10	1.14	1.29
		NC	-(0.6%)	(3.1%)	(2.1%)	(2.6%)	-(6.9%)	(2.2%)	(2.8%)	(2.5%)	-(4.1%)
Laval	6	CO	1.11	1.16	1.11	1.10	1.09	1.36	1.10	1.11	1.26
		NC	(2.5%)	(2.6%)	(4.8%)	(2.2%)	(1.6%)	-(4.5%)	(1.7%)	(8.1%)	-(1.8%)
Couronne nord	7	CO	1.13	1.10	1.10	1.05	1.09	1.10	1.30	1.10	1.26
		NC	(5.0%)	(3.4%)	(2.6%)	(2.1%)	(3.8%)	(1.5%)	-(4.5%)	(5.6%)	-(3.2%)
Couronne sud	8	CO	1.12	1.09	1.06	1.12	1.14	1.11	1.11	1.34	1.29
		NC	(3.1%)	(3.9%)	(2.6%)	(2.5%)	(1.9%)	(8.3%)	(4.8%)	-(8.1%)	-(5.7%)
Global		CO	1.25	1.32	1.30	1.28	1.29	1.26	1.26	1.28	1.28
		NC	-(2.9%)	-(4.7%)	-(3.4%)	-(3.3%)	-(4.1%)	-(1.6%)	-(3.1%)	-(5.6%)	-(3.8%)

CO = Taux d'occupation, NC = Réduction ou augmentation (%) du nombre de déplacements AC
Déplacements AC+AP, US = 1 km, UT = 1 heure, TOM = 4

Suite aux estimations, le taux d'occupation global des véhicules pour l'ensemble de la région est de 1.28 personnes par véhicules, comparativement à 1.23 pour la situation initiale (voir Tableau 1). Cette hausse du taux d'occupation engendrerait une baisse de 3.8% des déplacements AC dans la région, soit environ 190 000 déplacements. Encore une fois, les plus forts potentiels de jumelages se retrouvent dans les déplacements intra zonaux. La réduction des déplacements est plus petite que dans le scénario 1 car plusieurs déplacements AP ne correspondent avec aucun déplacement AC et de facto, l'algorithme les transforme en AC. Cela explique aussi pourquoi une



augmentation des déplacements AC est observée dans plusieurs paires OD de la région de Montréal.

Scénario 3

Le troisième scénario représente une situation plus hypothétique où l'on suppose que l'ensemble des déplacements Auto-Conducteurs, Auto-Passagers et Transport en Commun seront effectués en covoiturage. L'objectif est donc de déterminer le potentiel de jumelage des déplacements en incluant les usagers du transport en commun actuels et d'illustrer l'impact du Transport en Commun sur le nombre d'automobiles nécessaire afin de satisfaire les besoins en déplacements de la population. Les résultats sont présentés au Tableau 4.

Tableau 4. Taux d'occupation moyen et impact du jumelage sur le nombre de déplacements AC nécessaire pour le scénario 2

ID			1	2	3	4	5	6	7	8	Global
Centre-Ville	1	CO	1.97	1.54	1.19	1.23	1.29	1.17	1.15	1.18	1.39
		NC	(66.4%)	(165.7%)	(180.5%)	(155.9%)	(143.2%)	(177.9%)	(131.0%)	(136.8%)	(146.6%)
Montréal-Centre	2	CO	1.56	1.43	1.22	1.19	1.08	1.13	1.08	1.08	1.34
		NC	(166.2%)	(35.8%)	(40.2%)	(39.3%)	(44.9%)	(37.3%)	(24.7%)	(29.2%)	(44.3%)
Montréal-Est	3	CO	1.21	1.22	1.46	1.08	1.03	1.11	1.10	1.06	1.30
		NC	(186.1%)	(37.8%)	(8.7%)	(26.2%)	(14.9%)	(10.5%)	(6.5%)	(6.3%)	(20.7%)
Montréal-Ouest	4	CO	1.29	1.20	1.06	1.37	1.06	1.09	1.07	1.11	1.28
		NC	(142.4%)	(37.5%)	(26.9%)	(3.8%)	(23.9%)	(11.1%)	(6.5%)	(8.2%)	(14.9%)
Rive-Sud proche	5	CO	1.32	1.08	1.04	1.06	1.36	1.06	1.10	1.14	1.29
		NC	(142.9%)	(46.0%)	(16.3%)	(23.1%)	(0.6%)	(18.9%)	(6.0%)	(5.9%)	(9.8%)
Laval	6	CO	1.19	1.14	1.11	1.10	1.07	1.36	1.10	1.11	1.26
		NC	(174.8%)	(35.5%)	(11.4%)	(10.8%)	(17.6%)	(4.7%)	(5.3%)	(10.4%)	(12.2%)
Couronne nord	7	CO	1.16	1.09	1.10	1.05	1.08	1.10	1.30	1.10	1.26
		NC	(127.0%)	(22.6%)	(5.7%)	(6.8%)	(7.3%)	(4.9%)	-(2.7%)	(6.0%)	(0.9%)
Couronne sud	8	CO	1.19	1.08	1.06	1.12	1.14	1.11	1.11	1.34	1.28
		NC	(127.5%)	(28.5%)	(5.4%)	(7.4%)	(5.2%)	(11.8%)	(5.4%)	-(7.6%)	-(1.6%)
Global		CO	1.42	1.34	1.30	1.27	1.29	1.26	1.26	1.28	1.30
		NC	(143.8%)	(43.6%)	(21.2%)	(15.4%)	(9.8%)	(12.4%)	(1.0%)	-(1.4%)	(17.9%)

CO = Taux d'occupation, NC = Réduction ou augmentation (%) du nombre de déplacements AC
Déplacements AC+AP+TC, US = 1 km, UT = 1 heure, TOM = 4

Suite aux estimations, on observe une hausse du taux d'occupation des véhicules à 1.30 personnes par véhicule. Néanmoins, cette hausse du taux d'occupation s'accompagne d'une hausse de 17.9% des déplacements AC, ce qui correspond à environ 900 000 déplacements. Ces résultats ne sont pas homogènes sur le territoire et les potentiels les plus élevés se retrouvent dans les corridors où l'offre de transport en commun est la meilleure. Effectivement, le taux d'occupation moyen des véhicules à destination du Centre-Ville de Montréal est de 1.42, ce qui correspond à une hausse de 143.8% des déplacements AC à destination de cette zone. Il est à noter que malgré l'ajout des déplacements TC, une baisse du nombre de déplacements AC nécessaires est observée pour les déplacements internes des zones 7 et 8. Cela peut s'expliquer par la faible déserte de TC dans ces



secteurs pour ce type de déplacements. Ce scénario illustre donc bien la contribution du TC dans la réduction du nombre d'auto conducteurs sur le réseau.

2.1.4 Analyse de sensibilité

Les résultats présentés précédemment sont intimement liés aux choix des différents paramètres. Afin de mieux comprendre les résultats, une analyse de sensibilité des paramètres a été effectuée. Le scénario 2 a été utilisé comme scénario de base pour cette analyse.

Variation de l'unité spatiale

Afin d'illustrer l'effet de la variation de l'unité spatiale, la largeur de celle-ci est variée de 100 m à 2 km. Les résultats du taux d'occupation global obtenu pour chaque estimation est illustrée à la Figure 4.

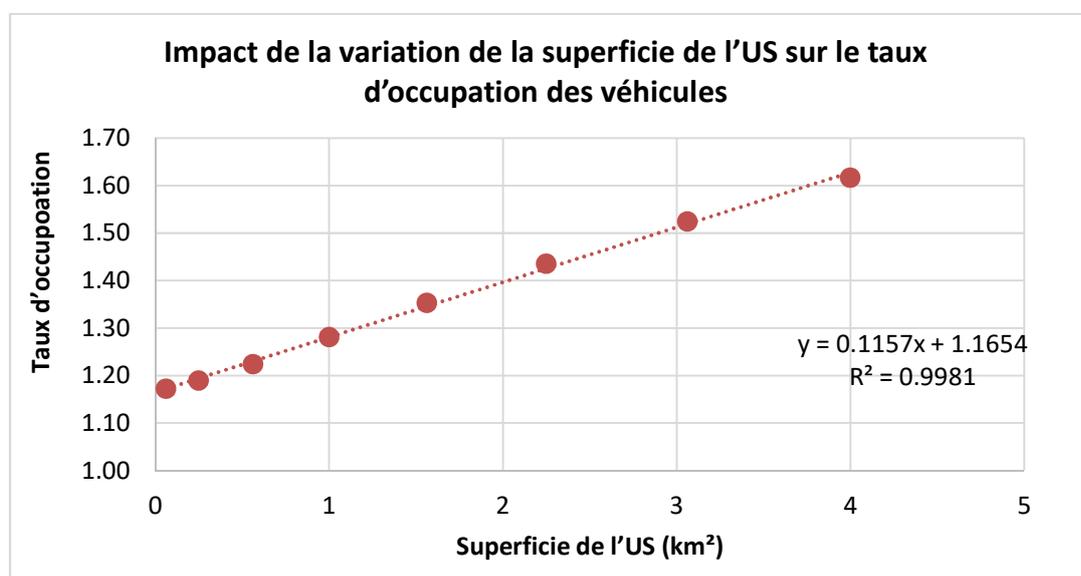


Figure 4. Impact de la variation de la superficie de l'US sur le taux d'occupation des véhicules

On remarque que le taux d'occupation global pour la région varie linéairement en fonction de la superficie de la cellule. Le taux d'occupation minimal est de 1.17 lorsque la largeur des cellules est de 0m. Ce taux correspond principalement au covoiturage familial. De plus, il a été estimé qu'un décalage de la grille engendre une variation négligeable dans les résultats.

Variation de l'unité temporelle

Afin d'illustrer l'effet de la variation de l'unité temporelle, l'intervalle de celle-ci est variée de 10 à 120 minutes. Les résultats du taux d'occupation global obtenu pour chaque estimation est illustrée à la Figure 5.

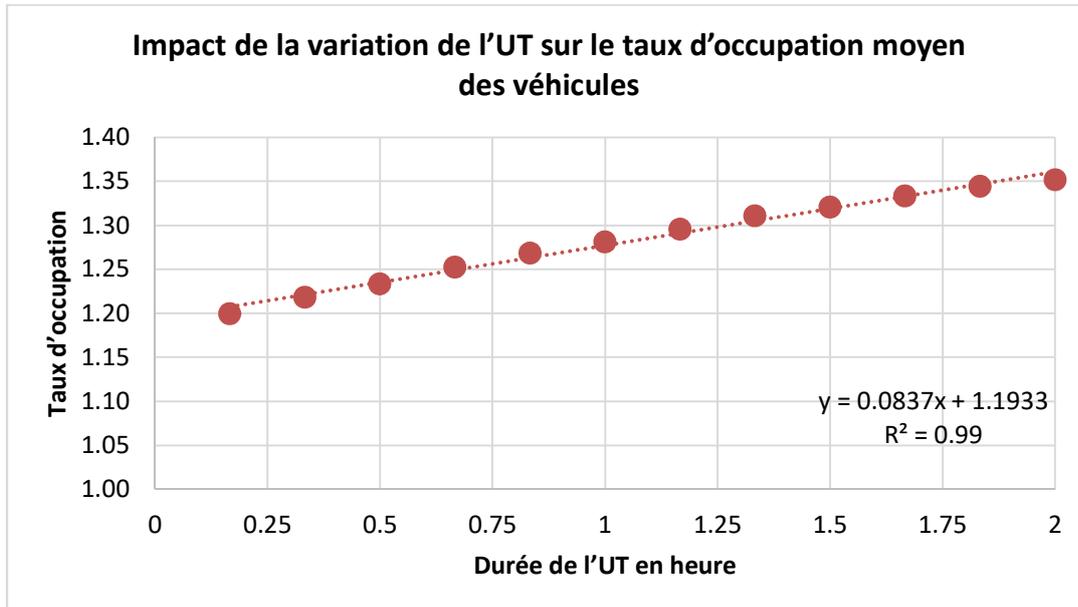


Figure 5. Impact de la variation de l'UT sur le taux d'occupation moyen des véhicules

On remarque que le taux d'occupation global pour la région varie aussi linéairement en fonction de la grandeur de l'intervalle temporelle considérée. De plus, il a été estimé qu'un décalage du début de l'unité temporelle engendre une variation négligeable dans les résultats.

Variation du taux d'occupation maximal des véhicules

Basé toujours sur le scénario 2, le TOM des véhicules a été modifié afin d'illustrer l'effet de ce paramètre sur le taux d'occupation global de la région. Les résultats démontrent qu'une augmentation du TOM de 2 à 5 personnes par véhicules engendre une hausse du potentiel de jumelage. Néanmoins, une augmentation supérieure du TOM n'engendre presque aucune hausse du taux d'occupation à l'échelle de la région.

2.1.5 Conclusion

L'étude des trois scénarios avec les paramètres utilisés a démontré, qu'un potentiel d'augmentation du covoiturage existe dans la région de Montréal. Néanmoins, elle illustre aussi l'importance qu'a le transport en commun dans les corridors où la densité de déplacements est élevée. Le scénario 2 démontre aussi que le potentiel de covoiturage est plus élevé dans les paires OD où l'offre de TC est faible. Cela illustre le rôle important que le covoiturage peut jouer afin de compléter l'offre de TC actuel. Le scénario 3 illustre également le rôle important que le TC possède dans la réduction de déplacements AC sur les réseaux actuels.

2.2 Portait évolutif de l'utilisation des stationnements dans la grande région montréalaise

2.2.1 Introduction

Le stationnement est un sujet qui a toujours été très présent dans l'actualité montréalaise, sans doute parce qu'il touche la mobilité de la plupart des personnes. En effet, les conducteurs doivent toujours se stationner pour se rendre à leurs lieux de destination. Mais il s'agit aussi d'un sujet qui

touche l'ensemble des citoyens d'une ville. Par exemple, les propriétaires voient une partie de leurs impôts fonciers être utilisée afin d'entretenir et de réhabiliter le réseau routier, réseau dont un pourcentage non-négligeable de la superficie est utilisé pour le stationnement des véhicules sur rue.

La multitude de types de stationnement et le grand nombre d'intervenants fait en sorte que l'étude du stationnement est un processus long et complexe. La plupart des études sur le stationnement se concentrent sur un seul type de stationnement ou sur des zones géographiques très petites, à cause de contraintes financières et temporelles. Il est donc important de développer des méthodes qui permettent de valoriser des bases de données existantes afin de pouvoir analyser le stationnement de manière plus systématique.

Les enquêtes Origines-Destination (OD) dans la grande région montréalaise (GRM) sont un exemple de données qui peuvent permettre une étude plus systématique du stationnement. En effet, elles contiennent de l'information sur les conducteurs (âge, sexe, etc.) et sur leurs déplacements (motif, durée de déplacement, etc.) qui permettent de caractériser l'utilisation des stationnements, et ce pour l'ensemble de la GRM.

2.2.2 Méthodologie

En 1998, une question sur le type de stationnement à destination a été posée pour la première fois. Cette question était posée pour tous les déplacements auto conducteur dont le secteur municipal de destination se situait au centre de l'île de Montréal. Pour les enquêtes subséquentes de 2003 et 2008, le territoire a été élargi à l'ensemble de l'île de Montréal. La Figure 6 montre les secteurs municipaux où la question sur le type de stationnement a été posée pour les enquêtes OD de 1998, 2003 et 2008.

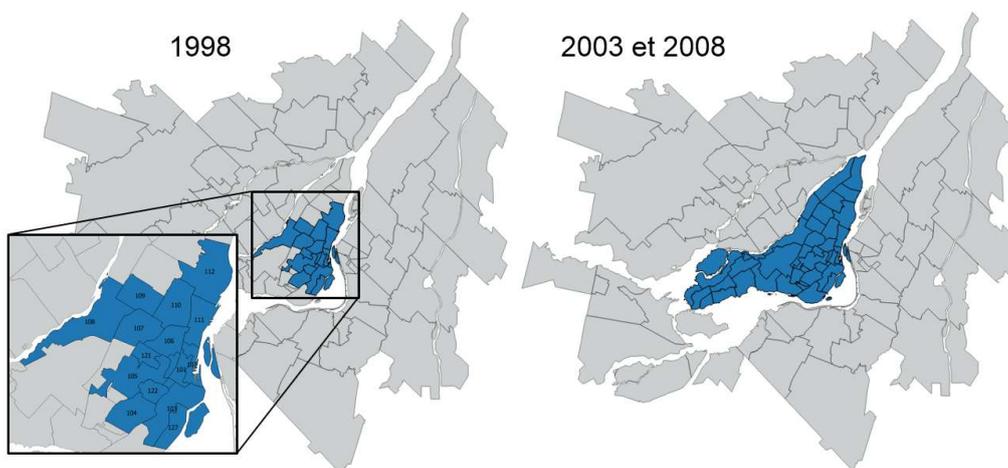


Figure 6. Secteurs municipaux de l'enquête OD où la question sur le type de stationnement au lieu de destination a été posée

Ces données permettent de construire des profils d'accumulation de véhicules (PAV). Un PAV est défini comme le nombre de véhicules qui sont stationnés à l'intérieur d'une zone géographique, à un instant donné.

Afin de construire les PAVs à partir de l'enquête OD, plusieurs hypothèses doivent être posées. En effet, chaque enregistrement de l'enquête OD constitue un déplacement. Les déplacements

doivent être convertis en activités de stationnement de la manière la plus conforme à la réalité possible. La Figure 7 montre la méthode qui est utilisée afin de construire les PAVs.

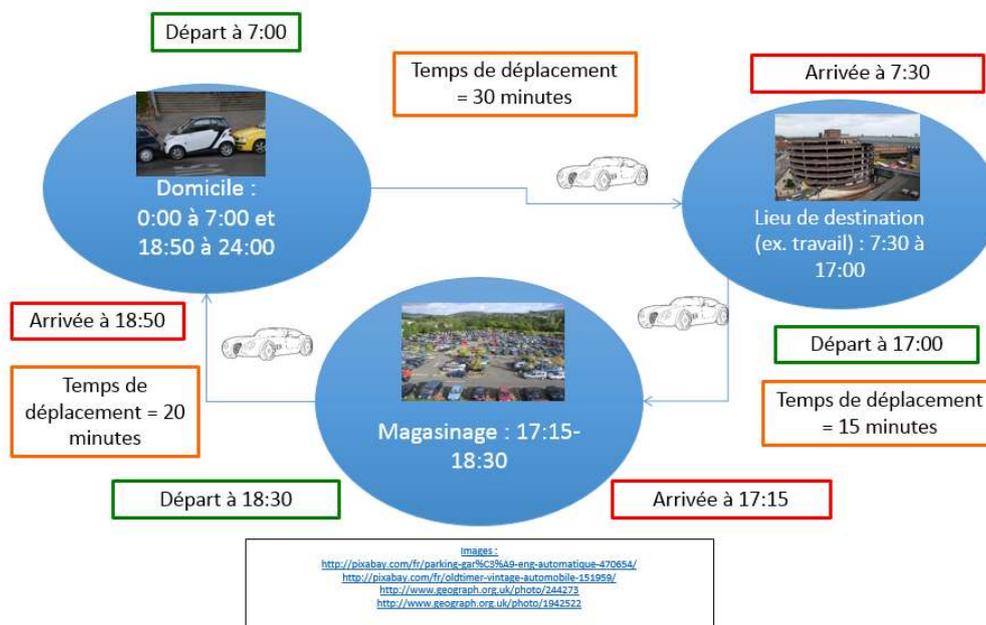


Figure 7. Méthodologie de construction du profil d'accumulation de véhicules (PAV)

Plusieurs hypothèses doivent être posées afin de pouvoir construire les PAVs :

- La seule information temporelle sur le déplacement est l'heure de départ. Il est donc nécessaire d'estimer une durée de déplacement. Cette durée de déplacement est supposée égale au temps nécessaire pour parcourir la distance euclidienne, aussi appelée distance à vol d'oiseau, entre les lieux d'origine et de destination, en supposant une vitesse de parcours de 50 km/h ;
- Les lieux de stationnement d'origine et de destination ne sont pas connus, et sont supposés égaux aux lieux d'origine et de destination ;
- Le type de stationnement antérieur au premier déplacement de la journée est inconnu. Celui-ci est donc supposé équivalent au type de stationnement du dernier déplacement de la journée, ce qui fait en sorte qu'il y a une continuité entre le début et la fin du PAV ;
- Lorsqu'un déplacement auto conducteur est fait, il est impossible de savoir que véhicule est utilisé (la seule information disponible est le nombre total de véhicules possédés par le ménage). Afin de déterminer le nombre de véhicules qui sont immobiles (c'est-à-dire les véhicules qui ne sont pas utilisés durant la journée), nous supposons que chaque personne au sein du ménage qui effectue un déplacement auto conducteur utilise un véhicule unique. Cette hypothèse permet de faire une estimation conservatrice du nombre de véhicules immobiles au sein de chaque ménage de la région d'intérêt.

Une fois que le PAV est construit, il est possible de déterminer des capacités théoriques de stationnement (CTS), qui sont définies comme étant le nombre maximal de véhicules qui sont stationnés simultanément dans une zone d'étude, et ce pour chaque type de stationnement. Par

exemple, si la capacité de stationnement sur rue pour une zone varie entre 5 000 véhicules à 9h00 et 10 000 véhicules à 23h00, la capacité théorique de stationnement, qui correspond au nombre maximal de véhicules stationnés simultanément sur une période de 24 heures sera de 10 000 véhicules.

2.2.3 Résultats

Des PAVs longitudinaux peuvent être produits pour l'ensemble des secteurs municipaux, puisque le programme génère les données nécessaires pour la construction des PAVs pour l'ensemble des enregistrements de l'enquête OD. Un exemple est illustré ici, soit le PAV longitudinal du secteur municipal du Plateau-Mont-Royal et est montré à la Figure 8.

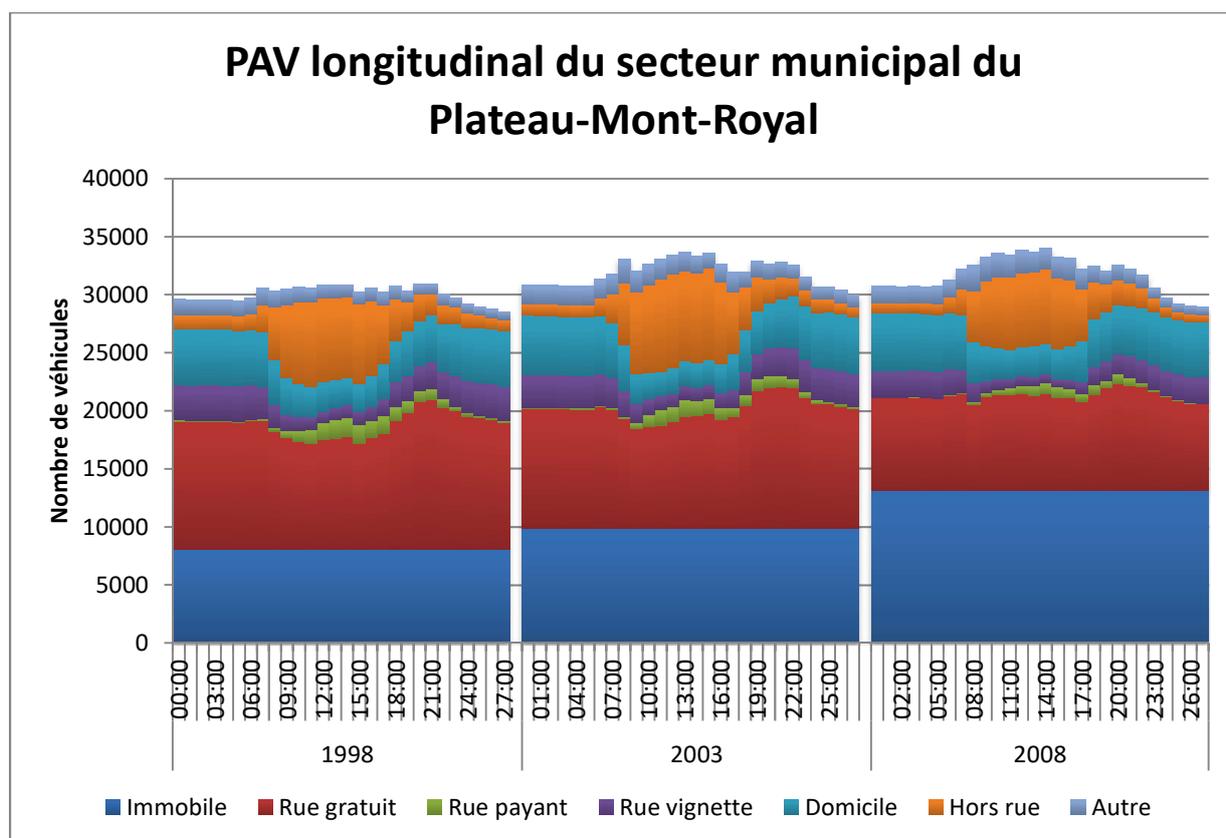


Figure 8. PAV longitudinal du secteur municipal du Plateau-Mont-Royal

Le type de visualisation présenté à la Figure 8 permet de mettre en perspective l'évolution temporelle de l'utilisation du stationnement au sein d'un territoire. Il est notamment possible de constater une augmentation du nombre de véhicules immobiles en 2003 et en 2008. De plus, une diminution marquée de l'utilisation du stationnement sur rue est aussi constatée. Il est donc possible que la diminution de l'utilisation du stationnement sur rue soit en fait causée par une augmentation du nombre de véhicules stationnés sur rue, mais qui ne sont pas utilisés durant la journée moyenne de semaine, ce qui fait en sorte qu'ils se retrouvent dans la catégorie des immobiles. Il s'agit ici d'une hypothèse qui reste à vérifier avec d'autres sources de données.

La diminution de l'utilisation du stationnement sur rue peut aussi être expliquée par d'autres phénomènes, comme une diminution de la capacité de stationnement sur rue. En effet, plusieurs mesures, comme les saillies de trottoir aux intersections, l'implantation des stations BIXI sur rue



à partir de 2009 (pas d'influence ici) ou l'augmentation du nombre de terrasses sur rue ont pu réduire l'offre sur rue, ce qui se traduit par une diminution conséquente de l'utilisation.

De plus, étant donné que l'enquête OD fournit de l'information sur le jour de la semaine où les déplacements sont effectués, il est possible d'estimer l'utilisation du stationnement pour chaque jour de la semaine. Il est cependant important de faire preuve de prudence dans l'interprétation des résultats, puisque la taille de l'échantillon est grandement réduite, par un facteur approximatif de 5. La Figure 9 montre un exemple de résultat de la méthode avec une représentation de l'utilisation du stationnement sur rue pour le secteur municipal du Plateau-Mont-Royal. En ce qui concerne le nombre d'observations, il varie entre 229 le lundi et 327 pour la journée du vendredi, comparativement à un total de 1249 pour le jour moyen de semaine.

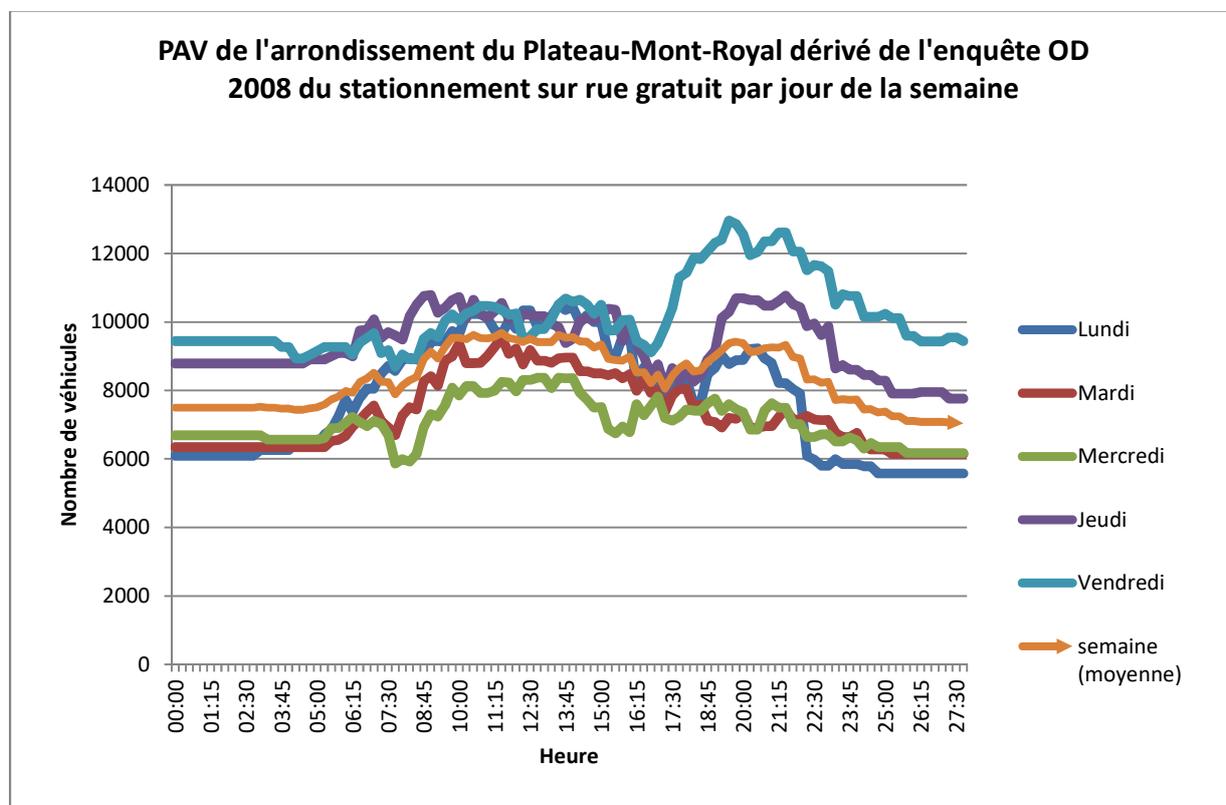


Figure 9. PAV du secteur du Plateau-Mont-Royal dérivé de l'enquête OD de 2008 du stationnement sur rue gratuit par jour de la semaine

La Figure 9 permet de constater une importante variation de l'utilisation des stationnements au sein des jours de la semaine. En effet, les jeudis et de vendredis semblent montrer une utilisation accrue du stationnement, et ce de manière accentuée en soirée. Ceci n'est pas étonnant puisque le secteur du Plateau-Mont-Royal compte plusieurs restaurants, bars et autres lieux de loisirs qui sont utilisés de manière accrue les jeudis et les vendredis soir.

Statistiques métropolitaines

L'étude systématique qui a été présentée dans la méthodologie permet de dresser un portrait global de l'utilisation des stationnements dans le temps et dans l'espace. Afin de comparer l'utilisation des stationnements entre les enquêtes OD de 1998, 2003 et 2008, 75 secteurs municipaux ont été

sélectionnés pour l'analyse. Ces secteurs ont été sélectionnés puisque leur découpage géographique était constant pour les trois enquêtes. Les 75 secteurs sont illustrés à la Figure 10. Ils couvrent l'ensemble de l'île de Montréal, l'île Jésus, ainsi que certains secteurs de Longueuil, de la Rive-Nord et de la Rive-Sud.

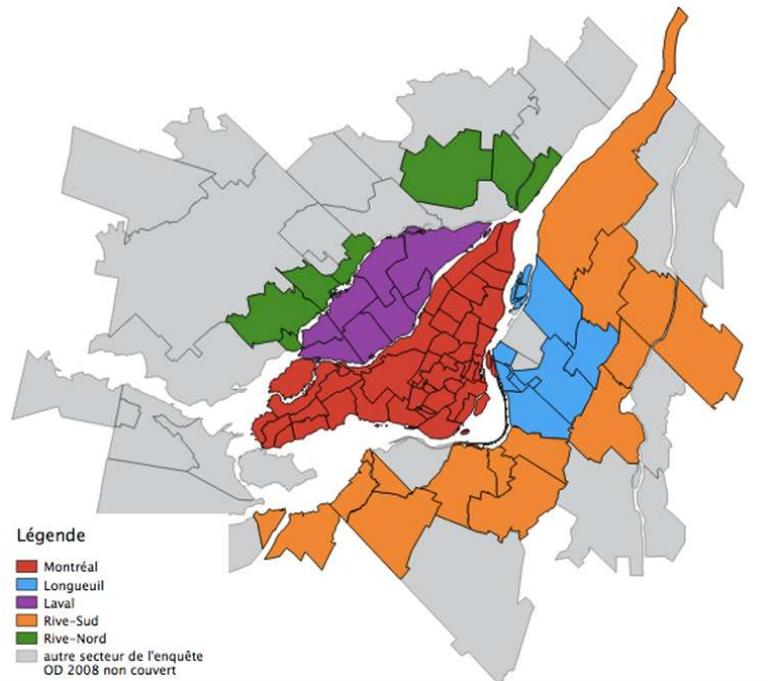
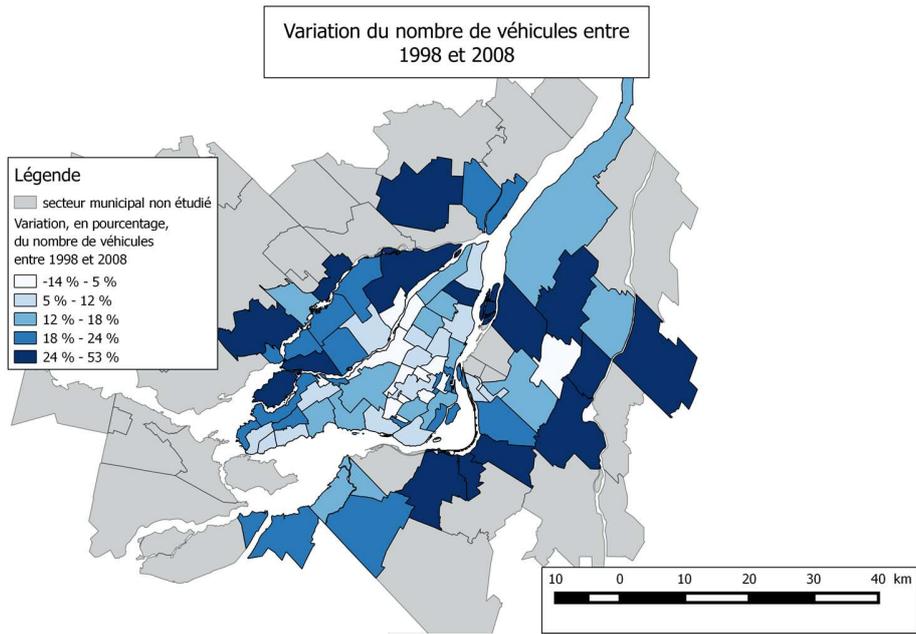
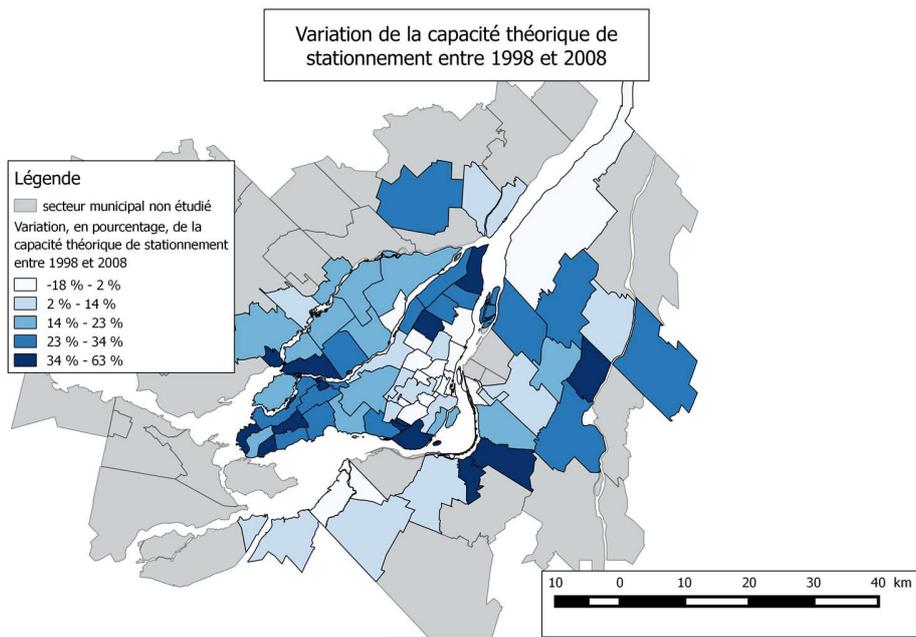


Figure 10. Secteurs municipaux sélectionnés pour l'analyse de l'utilisation du stationnement à l'aide des données des enquêtes OD de 1998, 2003 et 2008

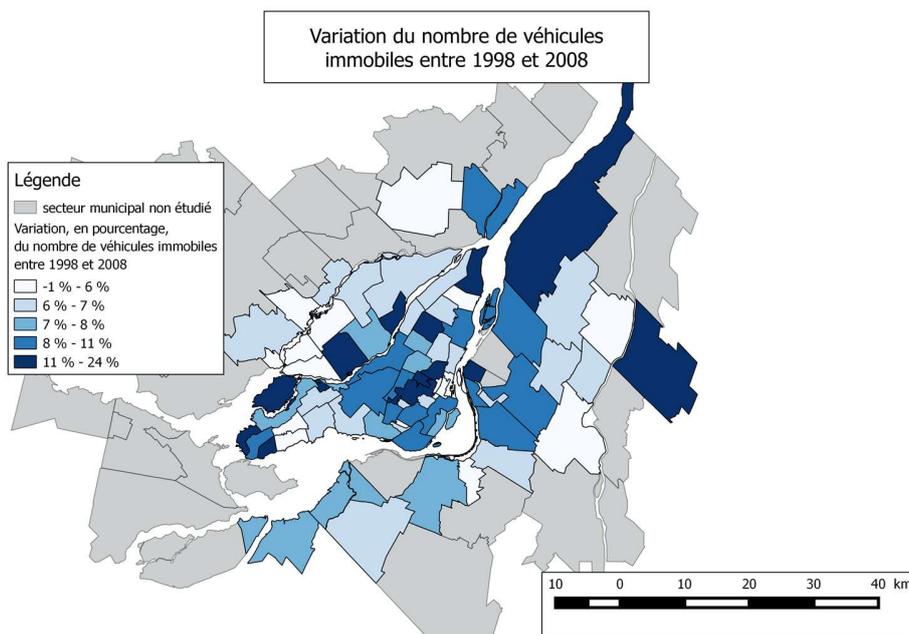
Afin de pouvoir apprécier l'évolution spatio-temporelle de l'utilisation des stationnements, des cartes ont été produites afin de représenter certains indicateurs en lien avec le stationnement par secteur municipal : le nombre de véhicules possédés par les ménages dans les secteurs, la capacité théorique de stationnement, le nombre de véhicules immobiles, et les durées moyennes de stationnement. Ces cartes sont présentées à la Figure 11, et représentent la variation de chaque indicateur, en pourcentage, entre 1998 et 1998 (une augmentation correspond à un pourcentage positif).



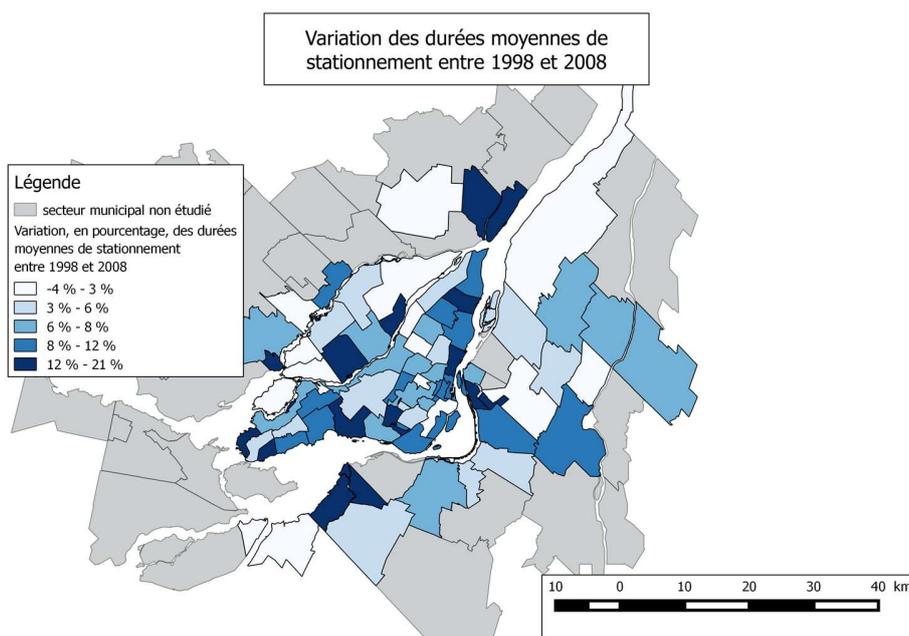
(a)



(b)



(c)



(d)

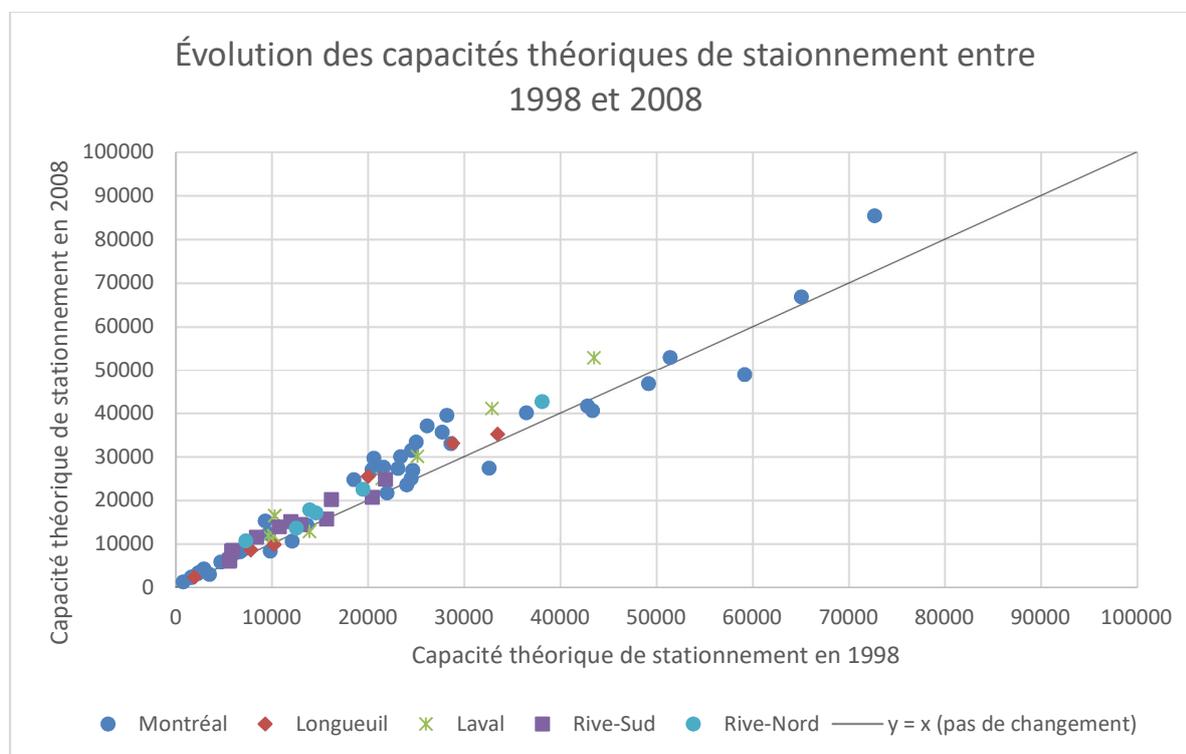
Figure 11. Représentation spatiale de l'évolution du stationnement dans la GRM entre 1998 et 2008: nombre de véhicules (a), capacité théorique de stationnement (b), nombre de véhicules immobiles (c) et durée moyenne de stationnement (d)

En ce qui concerne le nombre de véhicules (Figure 11-a), il semble que les secteurs municipaux où les hausses de véhicules sont les plus importantes sont situés plus loin du centre-ville. Les capacités théoriques de stationnement ont augmenté pour la majorité des secteurs, mais la partie centrale de l'île de Montréal semble avoir connu une baisse des capacités théoriques. Pour ce qui

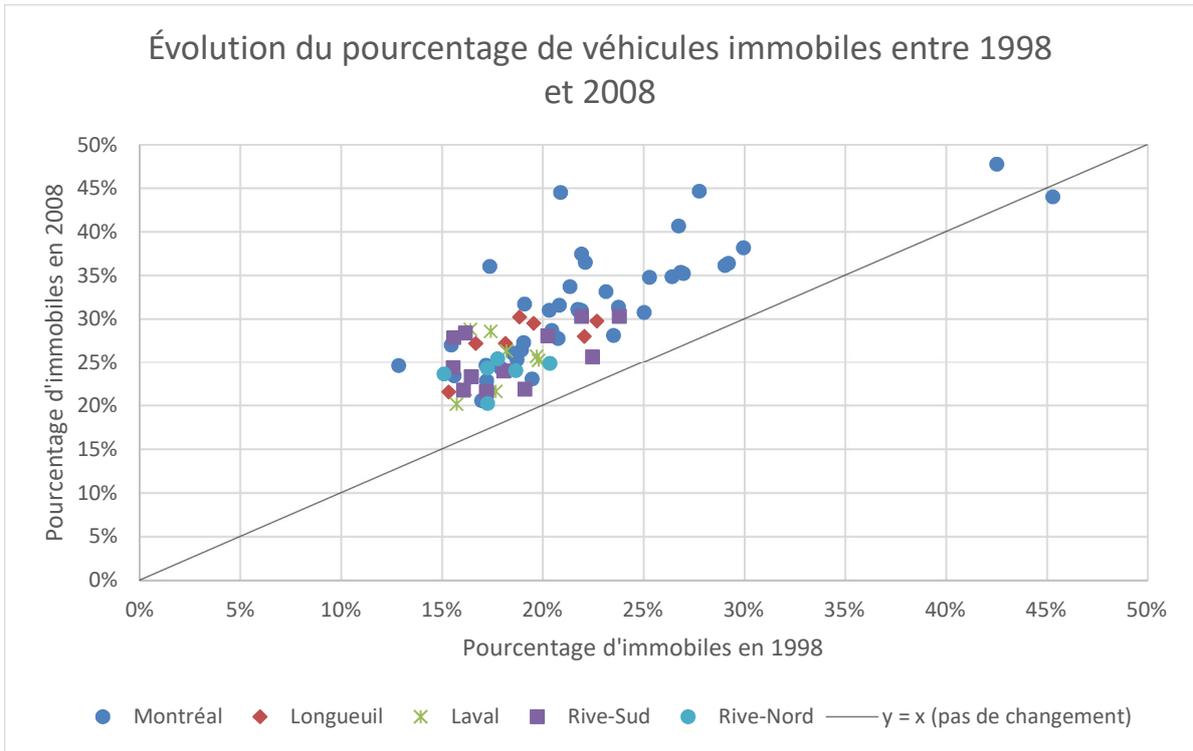


est de la variation du nombre de véhicules immobiles, un fait important est de constater que presque tous les secteurs de la GRM ont vu leur nombre de véhicules immobiles augmenter, à l'exception du centre-ville où une faible diminution (1 %) a été constatée. Finalement, les durées moyennes de stationnements pour les motifs autres que le retour au domicile ont été calculées et sont présentées à la Figure 11-d. L'évolution spatio-temporelle des durées moyennes de stationnement semble être plus complexe, mais plusieurs secteurs municipaux de l'île de Montréal ont eu des augmentations plus élevées entre 1998 et 2008 que la moyenne des secteurs hors de l'île.

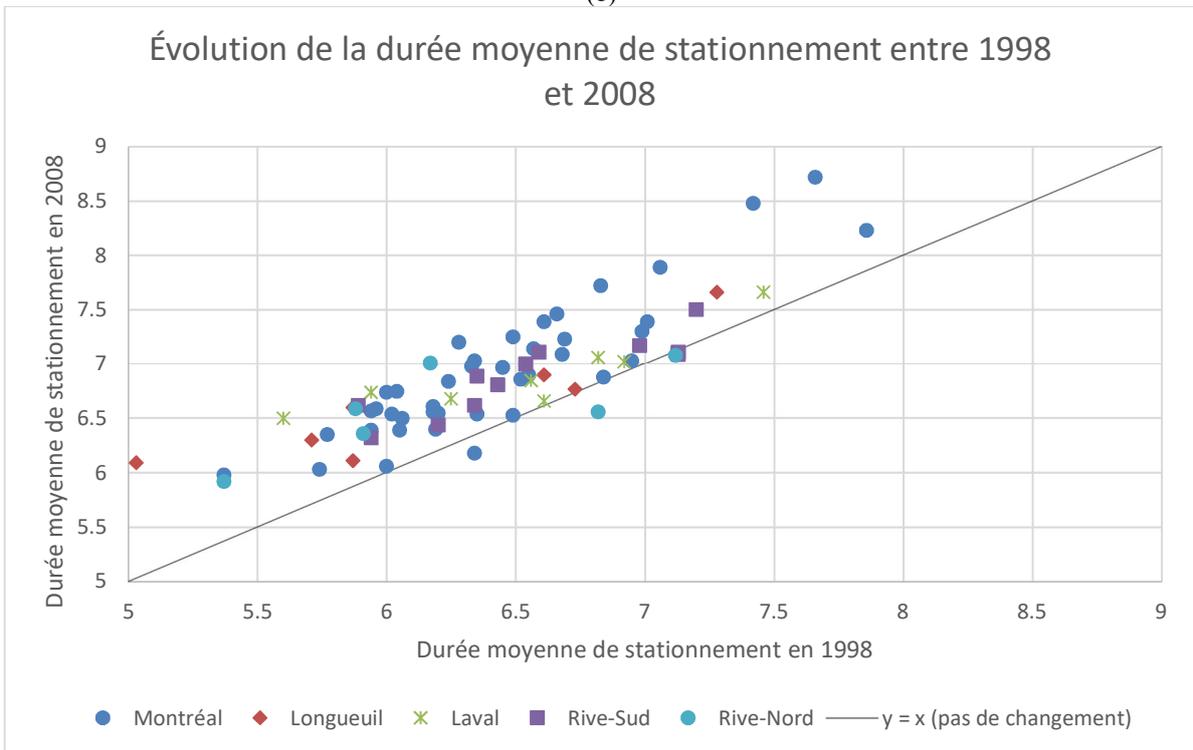
Une autre façon de représenter l'évolution de l'utilisation du stationnement au sein des secteurs municipaux est de faire des graphiques avec différents indicateurs, avec sur l'axe des x la valeur à un certain moment et sur l'axe des y la valeur du même indicateur à un moment ultérieur. Encore une fois, les indicateurs calculés sont les capacités théoriques de stationnement, le pourcentage de véhicules immobiles et la durée moyenne de stationnement. Les valeurs des indicateurs ont été calculées pour les enquêtes OD de 1998 et de 2008. Les résultats sont présentés à la Figure 12.



(a)



(b)



(c)

Figure 12. Évolution de la capacité théorique de stationnement (a), du pourcentage de véhicules immobiles (b) et de la durée moyenne de stationnement (c) entre 1998 et 2008



À l'aide des graphiques x-y de la Figure 12, il est possible de comparer l'évolution des indicateurs entre 1998 et 2008 pour chaque secteur municipal. De plus, le type de marqueur indique la région dans laquelle le secteur municipal se trouve. La diagonale tracée permet de localiser visuellement les secteurs où l'indicateur a augmenté, puisque ceux-ci sont localisés au-dessus de la diagonale. Les capacités théoriques de stationnement ont augmenté pour la plupart des secteurs, sauf quelques-unes de l'île de Montréal. Les secteurs ayant connu les plus fortes augmentations se retrouvent sur l'île de Montréal et à Laval. Les pourcentages d'immobiles ont eux aussi augmenté pour l'immense majorité des secteurs municipaux, avec les plus grandes augmentations à Montréal, à Longueuil et sur la Rive-Sud. Les durées moyennes de stationnement ont aussi augmenté pour presque tous les secteurs sauf à Montréal et sur la Rive-Sud et la Rive-Nord. Les augmentations les plus marquées semblent se trouver à Montréal, à Laval et sur la Rive-Nord.

Les choix de stationnement sont souvent reliés avec d'autres variables relatives aux personnes et aux ménages. Il est cependant très difficile de collecter ce genre d'information, et la recherche sur ce sujet est fragmentaire. Les enquêtes OD peuvent toutefois permettre de mettre en relation l'utilisation des stationnements et certains attributs. Par exemple, l'inutilisation des véhicules a été mise en relation avec une importante caractéristique des ménages, soit le nombre de véhicules possédés (aussi appelé taux de motorisation). Cette relation est représentée à la Figure 13 pour les trois enquêtes. Chaque point représente un des 75 secteurs municipaux pour une enquête donnée. Sa position en x correspond au pourcentage de véhicules immobilés, et sa position en y correspond au nombre moyen de véhicules possédés par les ménages du secteur.

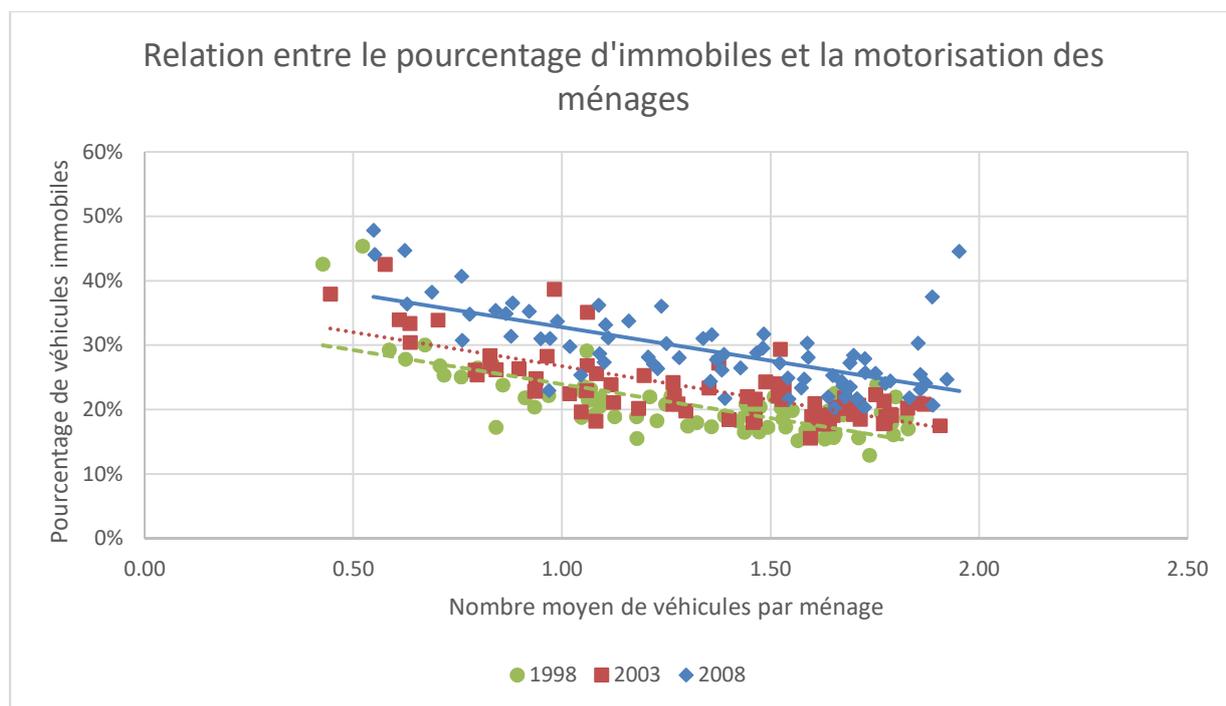


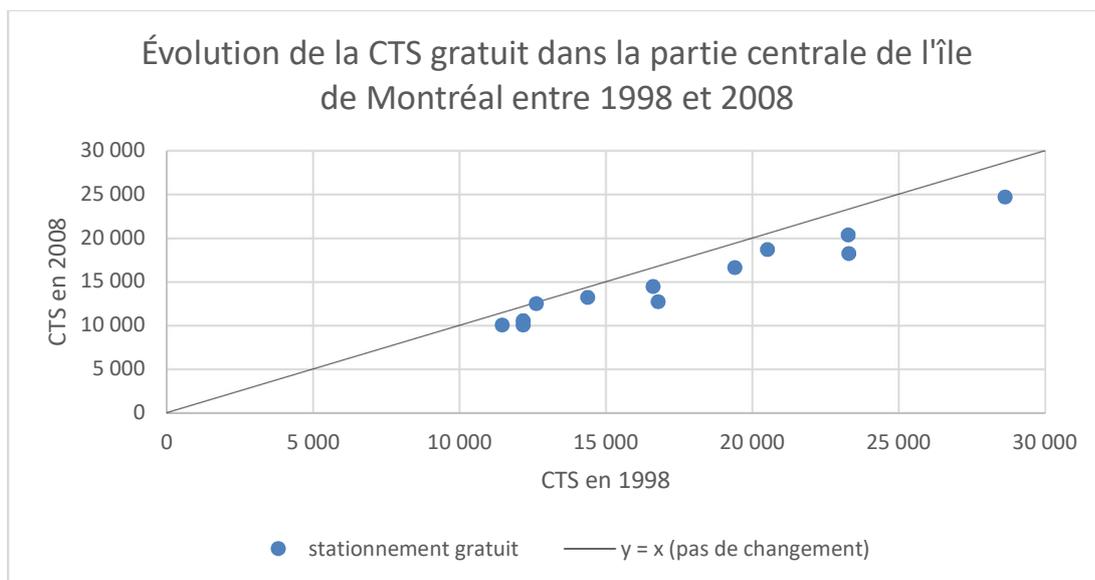
Figure 13. Relation entre le pourcentage de véhicules et la motorisation des ménages

La Figure 13 montre que dans les secteurs où les ménages sont plus motorisés, les véhicules sont plus utilisés, ce qui peut s'expliquer par le fait que ces secteurs sont généralement situés en banlieue, où les ménages sont souvent plus dépendants de leur voiture. De plus, la comparaison entre les trois enquêtes permet de constater que les véhicules sont de moins en moins utilisés, et

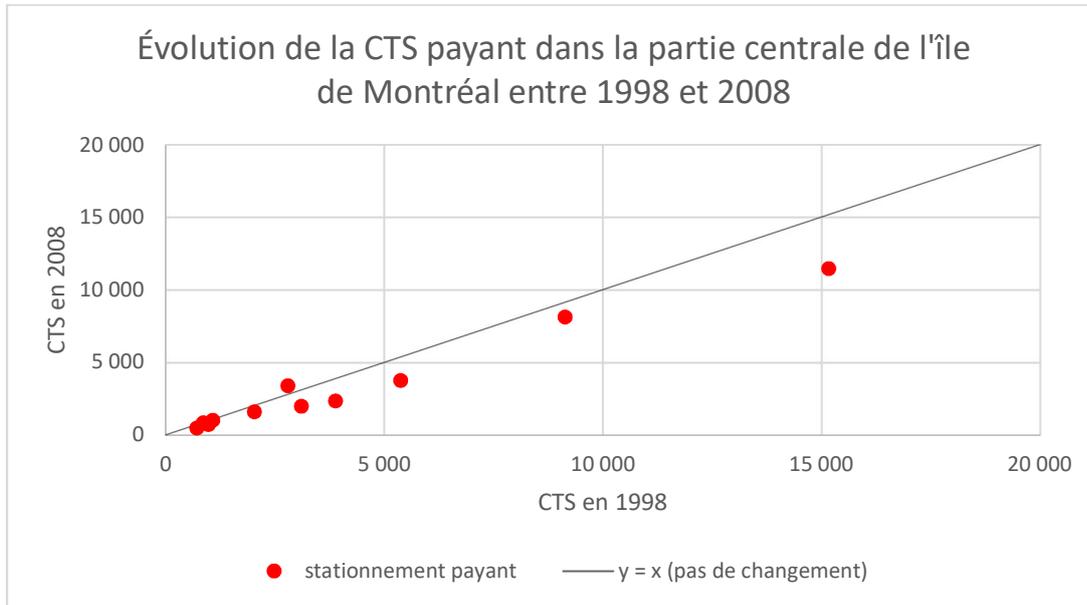


que l'influence de la motorisation diminue (autrement dit, la pente est moins forte en 2008 qu'en 1998).

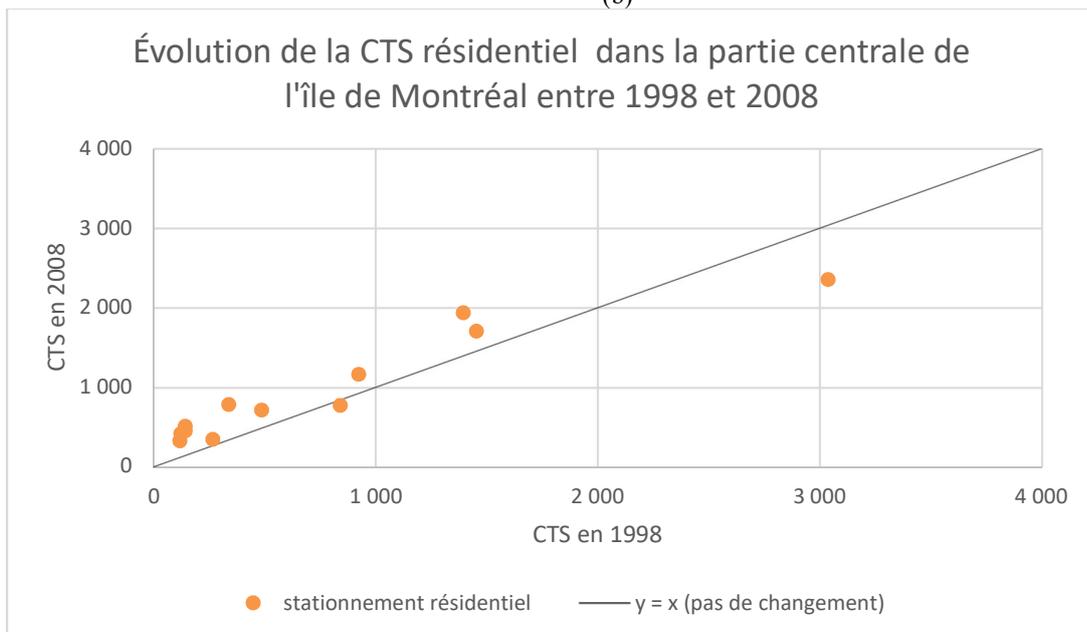
Pour les secteurs municipaux du centre de l'île de Montréal, une analyse évolutive par type de stationnement est possible, puisque la question sur le type de stationnement à destination a été posée dès 1998. Le même type de graphique qu'à la Figure 14 a été produit pour plusieurs types de stationnement. Il est important ici de spécifier qu'il existe 15 choix de types de stationnement dans l'enquête OD (12 en 1998), donc une agrégation a été faite, et quatre types de stationnement ont été produits : le stationnement gratuit, le stationnement payant, le stationnement résidentiel (avec vignettes) et le stationnement subventionné.



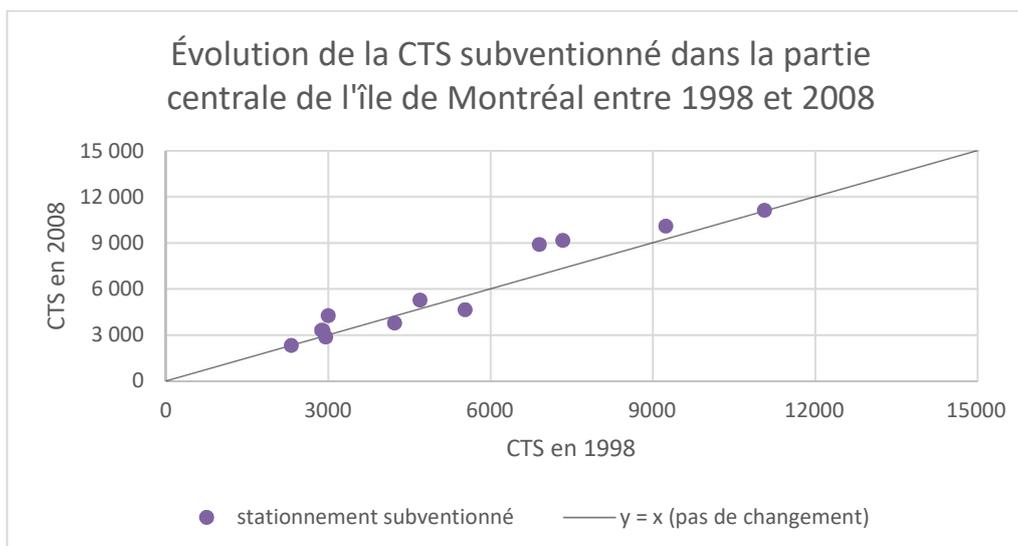
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 14. Évolution des capacités théoriques de stationnement entre 1998 et 2008 par type, dans la partie centrale de l'île de Montréal

Les résultats présentés à la Figure 14 montrent que les CTS des stationnements gratuits et payants ont diminué entre 1998 et 2008, alors qu'elles ont augmenté pour les stationnements résidentiels et subventionnés. Entre 1998 et 2008, il est important de noter que le nombre de vignettes de stationnement a augmenté dans la plupart des arrondissements de la Ville de Montréal, ce qui peut expliquer la hausse de l'utilisation du stationnement résidentiel dans ces secteurs municipaux. D'autres mesures discutées précédemment (avancées de trottoir, terrasses, etc.) peuvent en partie expliquer la diminution de l'utilisation du stationnement sur rue, de même que la hausse marquée du nombre de véhicules immobiles dans le centre de l'île de Montréal.

2.2.4 Étude du park and ride

À l'aide des données de l'enquête OD, il est possible de dériver l'utilisation du park and ride dans la GRM. Un déplacement est de type park and ride si les modes auto conducteur et transport en commun sont présents dans la séquence de modes du déplacement. Ces informations permettent de produire des PAVs pour le park and ride de la même manière que les PAVs par secteur municipal. La Figure 15 montre le PAV de l'ensemble du park and ride pour l'ensemble de la GRM pour les trois enquêtes OD.

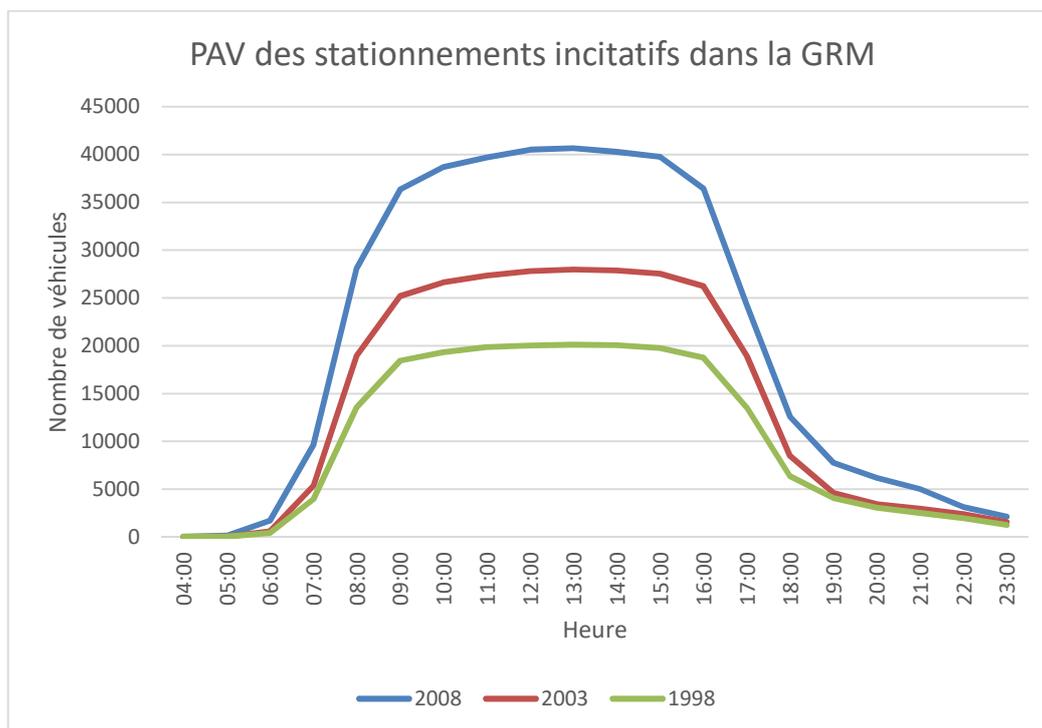


Figure 15. PAV des stationnements incitatifs dans la GRM

Sans grande surprise, l'utilisation du park and ride dans la GRM est en constante augmentation, en lien avec l'augmentation de l'offre de stationnement incitatif. L'utilisation maximale du park and ride, qui survient durant le jour (entre 10 heures et 16 heures) est passée d'environ 20 000 véhicules en 1998 à plus de 40 000 véhicules en 2008. Il semble cependant que l'utilisation des stationnements en 2008 est plus accrue tôt le matin et tard en soirée. En effet, à 7 heures, on recensait un peu moins de 4 000 véhicules stationnés en 1998 contre plus de 9 600 en 2008. L'utilisation en 1998 représentait donc environ 40 % de celle de 2008 pour cette heure, contre 50 % durant le jour. Il est cependant important de garder en tête que les déplacements de type park and ride représentent un faible pourcentage des déplacements de l'enquête OD, et leur représentativité statistique doit être validée lors des analyses.

De plus, un champ sur le stationnement incitatif utilisé à la jonction est présent, si applicable. Une analyse préliminaire de ce champ a cependant révélé que le nombre d'enregistrements par stationnement incitatif semble souvent être trop faible pour analyser de manière détaillée l'utilisation des stationnements incitatifs. Les enquêtes à bord sont une source de données qui pourraient fournir de l'information plus précise sur l'utilisation des stationnements incitatifs.

2.2.5 Conclusion

En conclusion, ces travaux ont permis de démontrer la pertinence de l'utilisation des données de l'enquête OD dans l'étude des stationnements. En effet, le traitement de ces données se fait de manière systématique, ce qui permet d'étudier le stationnement sur une grande étendue, en l'occurrence ici la GRM. De plus, il s'agit de données qui sont actualisées environ à tous les 5 ans, ce qui fait en sorte que l'évolution temporelle de l'utilisation du stationnement peut être produite.



Les prochains travaux de recherche sur l'utilisation des enquêtes OD pour l'étude des stationnements porteront vraisemblablement sur le traitement de l'enquête OD de 2013, et de la confrontation des résultats avec les trois enquêtes précédentes. Ces résultats pourront à tout moment être confrontés avec d'autres données sur l'utilisation des stationnements, ce qui permettra de valider les estimés et les capacités théoriques de stationnement.



3 État d'avancement des thématiques spécifiques

Ce chapitre présente l'état d'avancement des différents travaux de recherche menés par les étudiants et chercheurs de la Chaire. Dans le cas des travaux 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.

3.1 Amélioration des méthodes d'estimation des émissions polluantes liées aux véhicules routiers – Les cycles de conduite

- Étudiante : Pegah Nouri (doctorat)
- Supervision : Morency
- État : Fin décembre 2015
- Financement : Chaire Mobilité
- Référence: Nouri, P. (2016). Enhancing the Gasoline Vehicles' CO2 Emissions Estimation in Montreal (Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal). Tiré de <https://publications.polymtl.ca/2038/>

****** 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 ******

3.1.1 Introduction

Les déplacements individuels se sont multipliés au cours des dernières décennies et la principale conséquence de cette croissance est l'augmentation importante des émissions résultant de la combustion de carburant. Les émissions résultant de la combustion de carburant peuvent être classées en deux grandes catégories : les émissions ayant un impact direct sur la santé humaine comme les polluants atmosphériques et les émissions liées aux changements climatiques tels que les gaz à effet de serre. D'une part, les polluants atmosphériques contribuent à l'augmentation de la mortalité et des admissions hospitalières (Brunekreef & Holgate, 2002) et de l'autre côté, les changements climatiques sont devenus un des principaux enjeux environnementaux des dernières années. Par conséquent, réduire les émissions provenant du domaine des transports en une des priorités et des obligations des décideurs actuellement.

Cependant, avant d'opter pour certaines politiques ou stratégies de mitigation, il est nécessaire de pouvoir estimer correctement les émissions produites par les véhicules ou au moins de développer une méthodologie suffisamment précise et versatile pour permettre l'évaluation des impacts de différentes politiques et stratégies. La méthode utilisée dans les estimations de grande échelle s'appuie sur des cycles de conduite. Les cycles de conduite représentent des variations de vitesse à travers les temps et correspondent à des comportements types de conduite. La littérature a



confirmé que les comportements de conduite, et donc les cycles de conduite, varient d'une région à l'autre (André et al., 2006).

Les cycles de conduite ont deux principaux usages. D'abord, un usage de régulation car ils sont utilisés pour calculer les émissions des véhicules des constructeurs automobiles et pour le respect de lignes de conduite quant aux émissions par ces constructeurs. Ces cycles de conduite sont nommés cycles de conduite standards. Le deuxième usage des cycles de conduite est pour l'estimation des émissions. Comme ils représentent les comportements de conduite dans une région particulière, sous certaines conditions de circulation, ils représentent une composante essentielle du processus d'estimation des émissions atmosphériques. En plus de permettre l'estimation des émissions, ces cycles peuvent aussi être utilisés pour calculer la puissance des véhicules hybrides et électriques (Ashtari et al., 2014). Par conséquent, la fiabilité et la représentativité des cycles de conduite est critique.

Lors d'une comparaison entre les cycles de conduite standards et les cycles de conduite obtenus en conditions réelles de conduite, les auteurs ont observé que les cycles standards peuvent sous-estimer les émissions lors des phases de conduite (moteur à chaud) pour environ 50% dans le cas des véhicules à essence. Cette erreur est d'environ 10% pour les cycles standard selon Joumard et al. (2000). Différents facteurs peuvent influencer les cycles de conduite. D'un côté, les facteurs qui affectent les comportements de conduite sont les mécanismes de régulation de la circulation, la structure de la route, les conditions météorologiques et la géométrie du réseau. De l'autre côté, la méthodologie utilisée pour construire les cycles de conduite n'affecte pas les comportements de conduite, évidemment, mais affecte la représentativité des cycles de conduite en regard de la réalité de conduite. Cette méthodologie dépend du processus de collecte de données et de la procédure de construction des cycles.

Différentes méthodes ont été proposées pour développer des cycles de conduite mais leur structure est similaire. Un cadre général de développement a été proposé par Xiao et al. (2012) et inclut:

- Collecte de données
- Génération de microtrips
- Sélection des mesures de performance
- Développement des cycles de conduite

Les décisions relatives à chaque étape peuvent avoir un impact significatif sur la fiabilité et la représentativité des cycles de conduite développés. L'objectif de cette recherche est d'évaluer différentes approches permettant de générer des microtrips et d'identifier la méthode la plus fiable. Dans la prochaine section, une synthèse des principales études réalisées sur le sujet est proposée, selon les principales étapes listées ci-dessus. Cette synthèse est suivie d'une description de la méthodologie déployée pour cette recherche. Dans la dernière section, les différentes méthodes proposées sont comparées à l'aide de différents indicateurs. Une conclusion est finalement proposée.

3.1.2 Processus de développement des cycles de conduite : état des connaissances

Tel que mentionné brièvement dans la section précédente, il existe plusieurs méthodes pour développer des cycles de conduite mais généralement, ils font appel aux mêmes étapes (celles mentionnées à la section précédente); ces étapes sont illustrées à la Figure 16 et sont détaillées dans cette section.

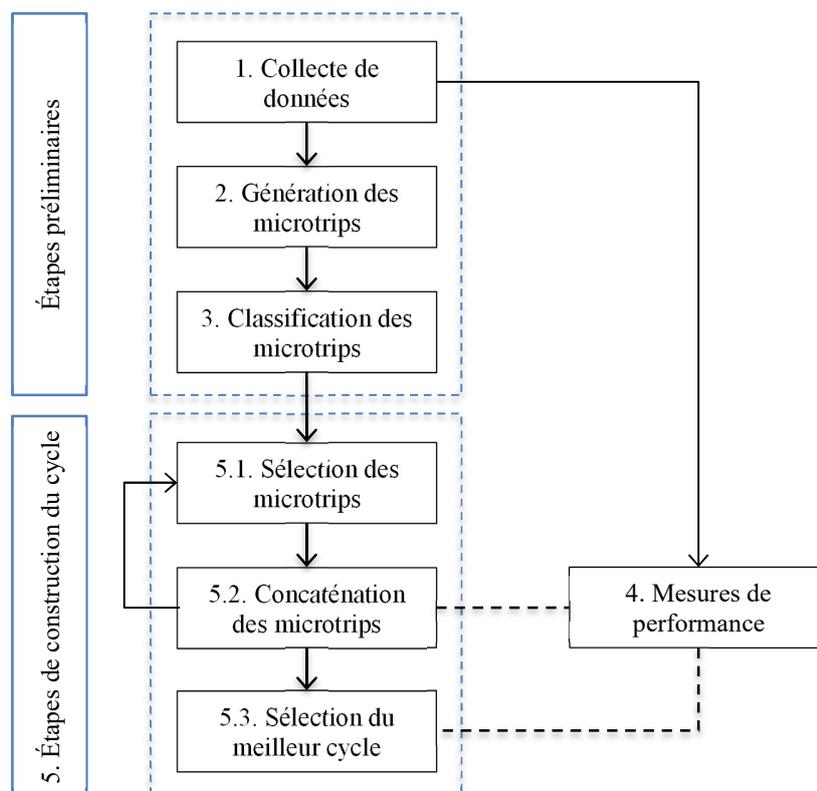


Figure 16. Procédure générale de développement des cycles de conduite

Étape 1: Collecte de données

La première étape du développement d'un cycle de conduite est la collecte de données. À travers l'histoire du développement des cycles de conduite, différentes méthodes ont été utilisées, leur usage dépendant des technologies disponibles aux différentes périodes. Selon les équipements et ressources disponibles, les procédures et méthodes peuvent être divisées en deux grandes catégories : la technique de la poursuite de véhicules et l'instrumentation à bord. Par ailleurs, dans certaines études, les deux méthodes sont utilisées en parallèle.

Technique de poursuite de véhicule

La technique de poursuite de véhicule est une des premières méthodes utilisées pour recueillir les données nécessaires pour générer un profil de vitesse. Il s'agit de demander à un conducteur (le véhicule poursuivant), dont le véhicule est équipé d'un instrument de mesure, de suivre un véhicule choisi aléatoirement (le véhicule cible) afin de recueillir le patron d'activités de ce véhicule ou de recueillir des données représentant un comportement similaire à celui du véhicule cible. Un des principaux protocoles de poursuite de véhicule utilisés dans la littérature est celui proposé par Austin et al. (1993) qui expliquent la procédure pour identifier un véhicule cible et pour recueillir des données de vitesse.

Au sein de la technique de poursuite de véhicule, deux méthodes peuvent être identifiées : recueillir les données du véhicule cible à partir d'une technologie laser ou recueillir des données du véhicule poursuivant (méthode aussi connue sous le terme de données non-verrouillées). Dans une



comparaison entre deux méthodes, Morey et al. (2001) expliquent que même si les deux méthodes sont comparables au niveau agrégé, elles présentent des différences importantes au niveau désagrégé. Dans ce contexte, le choix d'une méthode plutôt qu'une autre peut affecter la représentativité des cycles de conduite construits avec les données. Ils expliquent que la qualité des données non-verrouillées dépend largement de la capacité du conducteur du véhicule poursuivant à imiter les comportements de conduite du véhicule cible.

On peut identifier différentes études ayant fait usage de la technique de poursuite de véhicules notamment: Boulter et al. (1999), Schifter et al. (2005), Kamble et al. (2009) et Hung et al., (2007). Le principal avantage de cette méthode est le caractère aléatoire du véhicule cible et la capacité de recueillir des données pour un nombre important de véhicules. Cependant, une telle approche ne peut recueillir qu'un segment particulier du déplacement du conducteur et néglige par conséquent certains détails du déplacement complet. Par conséquent, il est préférable d'utiliser de l'instrumentation à bord.

Technique de l'Instrumentation à bord

Avec les nouvelles technologies, de nouvelles possibilités sont devenues disponibles pour recueillir des données de vitesse. Cette approche limite l'intervention humaine. Les nouveaux appareils de collecte de données peuvent être très petits et peuvent être laissés dans le véhicule pour une longue période, permettant ainsi d'enregistrer des activités en continu sans avoir besoin d'intrants du conducteur. Cette technique peut être segmentée selon deux catégories : la méthode planifiée (i.e. demander au conducteur de conduire sur une route prédéterminée) et la méthode non-planifiée (i.e. demander au conducteur d'utiliser ses routes habituelles).

Le choix des routes est la principale composante de la méthode planifiée. La sélection de la route peut être systématique sur la base des données de circulation ou non-systématique sur la base du jugement du responsable de la collecte de données. La méthode non-systématique a été utilisée dans différentes études notamment: Tong et al. (1999), Esteves-Booth et al. (2001), Shi et al. (2011), Montazeri-Gh and Naghizadeh (2007) et Fotouhi and Montazeri-Gh (2013). Cependant, il semble que la méthode non-systématique puisse être très biaisée car elle dépend de l'opinion de celui qui fixe le plan de collecte.

Le principal objectif de la méthode systématique est de trouver des routes représentatives qui peuvent couvrir l'ensemble des comportements de conduite d'un territoire et ce, objectivement. Deux exemples de recours à la méthode systématique sont présentés dans Tamsanya et al (2006) dans lesquels la sélection est basée sur la distribution des vitesses et débits sur le réseau. Hung et al. (2007) utilisent le débit journalier moyen annualisé pour identifier les routes pertinentes. Dans une autre étude, Li et al. (2008) tiennent compte du gradient de la route en plus d'utiliser les vitesses et débits de circulation.

L'autre technique d'instrumentation à bord qui est largement utilisée est la méthode non-planifiée; elle s'appuie sur la distribution de systèmes embarqués (ou l'extraction de données provenant de tels systèmes) à des conducteurs réguliers et l'enregistrement de leurs déplacements quotidiens. Cette méthode est favorisée en raison de sa simplicité, son faible coût et l'intervention professionnelle limitée. Une des premières collectes de données exhaustives a été réalisées en Europe et est présentée par André et al. (1994), suivis par André (2004a). Les données couvrent 77 véhicules, 2000 jours, 10,300 déplacements, 88,000 km, 2200 heures de conduite à travers six pays. La quantité de données est particulièrement importante car elle permet de développer un cycle de conduite représentatif. Un autre exemple l'utilisation de cette technique est présenté dans



Ashtari et al. (2014); la collecte de données est réalisée à Winnipeg, Canada, à travers 76 participants de Mai à Juin 2009. Dans cette technique, la méthode de recrutement joue un rôle important et doit être conçue en vue de limiter le risque d'exclusion de comportements de conduite particuliers. L'échantillon couvre généralement différents types de véhicules, individus parcourant différents niveaux de kilométrage annuellement (André et al., 2006) et différents segments de conducteurs selon les revenus, le niveau de scolarité, le genre et le lieu de domicile (Ashtari et al., 2014).

La dernière technique, l'instrumentation à bord suivant les comportements réguliers de conduite, est considérée comme étant la technique la plus exhaustive et efficace car elle permet de couvrir un large éventail de conditions et comportements sans intrants du chercheur.

Lorsque les données sont disponibles et organisées, il est possible de passer à l'étape qui suit à savoir la génération de microtrips.

Step 2: Génération de microtrips

Il est pratiquement impossible de définir un patron moyen de conduite en examinant la totalité d'un déplacement. Par conséquent, les déplacements sont généralement segmentés en petits déplacements représentant des patrons typiques de conduite; ceux-ci sont nommés microtrips. La définition la plus simple du microtrip est une séquence de profil de vitesse entre deux arrêts successifs (Xiao et al., 2012). Cette définition est utilisée dans la plupart des études : ainsi, dans les études référant à la méthode de génération de microtrips, il est généralement supposé que la séquence d'événements entre deux arrêts est utilisée. Néanmoins, certains suggèrent que la séquence d'événements entre deux arrêts successifs n'est pas représentative des comportements locaux de conduite sur les routes locales puisque les arrêts y sont très fréquents, ce qui complexifie les analyses et introduit un biais (André, 2004a). La conduite urbaine en conditions de congestion se traduit généralement en des arrêts fréquents et réguliers; ainsi, les microtrips résultants sont très courts et sont généralement exclus lors de la préparation des données. En effet, les microtrips de moins de 10 secondes sont généralement exclus du processus. Conséquemment, cette méthode sous-estime les comportements de conduite sur route urbaine congestionnée, ceux-ci n'étant toutefois pas négligeables dans l'estimation des émissions de GES. Ainsi, André (2004a) a proposé d'utiliser des intervalles de temps homogènes pour segmenter les déplacements en microtrips.

Une autre méthode simple est utilisée par Esteves-Booth et al. (2001); celle-ci est basée sur les intervalles de vitesse. Selon cette méthode, les déplacements sont segmentés en microtrips par classe de vitesse et accélération. Chaque fois que la vitesse atteint un certain seuil, un nouveau microtrip est débuté jusqu'à l'atteinte du seuil suivant de la classe.

Une autre définition de microtrips est proposée par Lin and Niemeier (2003); celle-ci est une approche de classification basée sur les données d'accélération. D'autres chercheurs ont aussi adopté cette méthode (Ashtari et al., 2014, Shi et al., 2011). Lin and Niemeier (2003) ont utilisé un algorithme de classification basé sur maximum de vraisemblance alors que Ashtari et al. (2014) ont utilisé une méthode de classification k-moyenne. Selon cette méthode, les données de vitesse sont agrégées en différentes classes nommées « événements » où un événement est associé à un mode d'accélération tel qu'un événement quasi-croisière, événement d'accélération, etc.



Step 3: Classification des microtrips

Après avoir segmenté les déplacements en microtrips, il faut classer les microtrips selon différentes catégories représentant des patrons de conduite. La vitesse moyenne, l'accélération et la proportion de temps passée au ralenti sont des facteurs souvent utilisés pour classer les microtrips. Différentes méthodes de classification peuvent être utilisées passant d'une procédure simple basée sur le jugement du chercheur à des algorithmes complexes de classification. Dans une application de l'approche simple, Montazeri-Gh and Naghizadeh (2007) ont classé les microtrips sur la base de l'état de la circulation identifié par la corrélation entre la vitesse moyenne et le temps passé au ralenti divisé par le temps total du microtrip. Dans une autre étude, Fotouhi and Montazeri-Gh (2013) ont utilisé le même facteur (vitesse moyenne vs temps au ralenti divisé par la durée totale du microtrip) mais cette fois en intégrant l'algorithme de k-moyenne pour la classification. L'algorithme de k-moyenne est aussi utilisé par Ashtari et al. (2014). Dans une autre étude, André (2004a) utilise la distance chi-carré sur la distribution fréquentielle temps-vitesse-accélération (Speed Acceleration time Frequency Distribution - SAFD) pour définir différents patrons de conduite. Aussi, Jie and Niemeier (2003) ont introduit les classes d'événements qui sont des profils d'accélération différents, puis utilisé une estimation par maximum de vraisemblance pour classer les événements dans ces classes.

Step 4: Sélection des mesures d'évaluation

Certains critères d'évaluation doivent être définis pour soutenir le processus de construction de cycles de conduite. Les critères d'évaluation sont les facteurs globaux qui représentent les caractéristiques cibles des cycles de conduite. Tel que souligné par Xiao et al. (2012), identifier les valeurs cibles et les mesures d'évaluation est une étape critique. Les valeurs cibles peuvent représenter toutes les données de conduite ou seulement certaines tendances de la base de données. Dans différentes études, diverses mesures d'évaluation ont été utilisées; toutefois, elles sont principalement liées à la vitesse et à l'accélération. Concernant la vitesse, les valeurs cibles peuvent être la vitesse moyenne, vitesse moyenne lorsqu'en mouvement, écart-type de la vitesse, vitesse maximum et minimum, etc. Aussi, concernant l'accélération, certaines de valeurs cibles sont l'accélération ou la décélération moyenne, l'accélération / décélération maximum et minimum, l'écart-type, le 95^e percentile, la moyenne quadratique, le pourcentage de temps en accélération / décélération / vitesse de croisière, etc. Ces mesures peuvent être utilisées pendant ou après la production des cycles de conduite, dépendant de la méthode de sélection utilisée. La dernière étape pour le développement d'un cycle de conduite est la concaténation de microtrips.

Step 5: Développement des cycles de conduite

Il y a deux étapes principales pour concaténer les microtrips : les approches stochastiques et les chaînes de Markov. Dans les méthodes stochastiques, les microtrips sont aléatoirement sélectionnés dans chaque classe de microtrips. Le seul critère requis est de garder la proportion de microtrips de chaque classe équivalente à la cible. La valeur cible peut être la proportion de la classe de microtrips dans la base de données complète ou pour un cycle particulier de conduite.

Dans l'autre méthode (André, 2004a; Ashtari et al., 2014; Jie & Niemeier, 2003), la probabilité que certains événements se produisent dans une certaine séquence est définie par une chaîne de Markov basée sur une matrice de transition. Dans cette méthode, le premier microtrip est choisi aléatoirement. Les microtrips successifs sont déterminés sur la base des probabilités des séquences de microtrips observées dans la base de données globale.



Il y a donc plusieurs méthodes disponibles pour chaque étape de développement d'un cycle de conduite. Dans certains cas, les chercheurs s'entendent quant à la méthode la plus efficace et appropriée. Par exemple, pour la collecte de données, la méthode non-planifiée avec instrumentation à bord est préférée. Similairement, dans la dernière étape, le recours à une matrice de transition est considéré comme l'approche la plus appropriée dans les applications les plus récentes. Aussi, les mesures d'évaluation utilisées pour sélectionner le meilleur cycle de conduite sont très similaires dans la plupart des études et s'appuient sur l'étude de Kuhler and Karstens (1978), avec quelques différences. Deux étapes ont reçu moins d'attention dans la littérature : les méthodes pour définir les microtrips et les méthodes de classification des microtrips. Dans cette étude, nous nous intéressons à la définition des microtrips.

3.1.3 Méthodologie

La plupart des méthodes de développement de cycles de conduite suivent la même procédure mais se distinguent en ce qui concerne certains détails et définitions. L'algorithme général pour développer les cycles de conduite est présenté à la Figure 16 **Error! Reference source not found.** Une des étapes préalables est la définition du microtrip. La définition des microtrips est un facteur clé dans le développement des cycles de conduite, les cycles de conduite étant un ensemble de microtrips agrégés dans un certain ordre. Tel que mentionné précédemment, les microtrips sont parfois mal définis et leur définition varie à travers les applications. Dans cette étude, nous évaluons comment différentes définitions viennent changer les cycles de conduite produits afin de formuler des recommandations sur les méthodes les plus appropriées. Les paragraphes qui suivent présentent une expérimentation réalisée à Montréal afin de recueillir des données et comparer les résultats produits selon différentes définitions.

Step 1: Collecte de données

Les données utilisées dans cette étude résultent d'un effort de collecte sur trois jours. Un instrument de collecte de données doté d'un GPS a été branché au port OBDII d'un véhicule, permettant de recueillir des données sur la vitesse et la position géographique à chaque seconde. D'autres données, telles que la consommation instantanée d'essence ou la température du moteur, ont aussi été recueillies mais n'ont pas été valorisées dans le cadre de ce projet. Huit volontaires, tous étudiants à Polytechnique Montréal, ont participé à l'opération de collecte de données. La collecte de données a été réalisée à la fin du mois de janvier 2014, pendant 3 jours, entre 7h00 et 22h00, couvrant une variété de conditions de circulation en pointe et hors-pointe. Après nettoyage de la base de données, quelques 35 heures de données sont disponibles pour les analyses. Certaines des données ont dû être détruites en raison d'erreur de données GPS ou lorsque le conducteur a fait une erreur dans le trajet prescrit. Aussi, les données liées aux arrêts requis pour mettre de l'essence ont été retirées.

Le trajet choisi contenait plusieurs types de routes : résidentiel, collectrice, boulevard et autoroute. Le trajet choisi a une longueur d'environ 20 kilomètres et prend en moyenne 43 minutes à parcourir. À la fin, 45 voyages ont été enregistrés. Les volontaires ont reçu la directive de conduire comme d'habitude. Le véhicule utilisé était un véhicule à essence de type Toyota Yaris emprunté de la flotte de véhicules de Communauto, la compagnie d'autopartage québécoise. Pendant les jours d'observations, la température a varié entre $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en tenant compte du facteur vent) et il n'y a eu aucune précipitation significative.



Step 2: Définition des microtrips

Dans cette étude, nous comparons six différentes méthodes pour la définition des microtrips:

- Séquence entre deux arrêts: un microtrip est la section d'un profil de vitesse localisée entre deux arrêts successifs (arrêt : vitesse nulle) qui s'amorce par un arrêt et qui est suivi d'une période en mouvement.
- Intervalles de temps fixes (trois durées différentes): intervalle de temps fixe utilisé pour définir les microtrips; trois intervalles sont évalués (10, 40 et 60 secondes).
- Distance fixe: les données sont segmentées en microtrips de 500 mètres.
- Intersections: un nouveau microtrip s'amorce dès qu'un véhicule traverse une intersection signalisée.
- Intervalles de vitesses: des intervalles de vitesse sont définis. Chaque fois que la vitesse atteint une des limites, un nouveau microtrip s'amorce. Dans cette étude, les classes de vitesse utilisées sont : 0,]0, 20],]20, 40],]40, 60], and]60, en km/h.
- Classes d'événements basés sur l'accélération (3 méthodes): les microtrips sont définis en utilisation une méthode de classification basée sur l'accélération. Initialement, deux approches de classification sont utilisées, la première sur la base de l'accélération instantannée : MLE (Estimation par maximum de vraisemblance), et la deuxième sur le K-moyenne.

Step3: Classification des microtrips

La méthode utilisée pour la classification des microtrips est la même que celle utilisée pour la définition des microtrips et similaire à celle utilisée par André (2004b). Dans cette méthode, SAFD est utilisé pour définir les caractéristiques de chaque microtrip plutôt que d'utiliser des facteurs moyens tels que l'accélération, la vitesse et la durée des arrêts. Ceci est possible car la méthode SAFD peut fournir plus de détails à propos de la vitesse et de l'accélération. Dans notre étude, la matrice de distribution vitesse-accélération de chaque microtrip est calculée et comparée avec celle des autres microtrips afin de calculer une matrice de dissimilarité. Ensuite, la méthode de classification par k-moyenne est utilisée pour classer les microtrips qui sont similaires en différentes catégories, chacune représentation un comportement spécifique de conduite. Globalement, sept classes sont identifiées. Les Figure 18 et Figure 19 démontrent les patrons SAFD de deux des catégories: celle représentant des conditions sous congestion et celle représentant des conditions en écoulement libre. La Figure 17 présente aussi le patron SAFD pour toute la base de données.

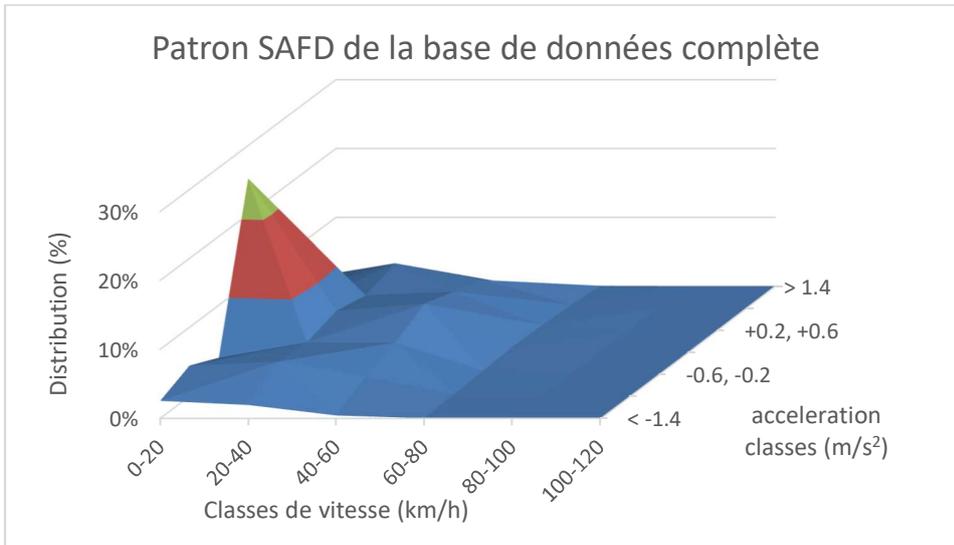


Figure 17. Patron SAFD global

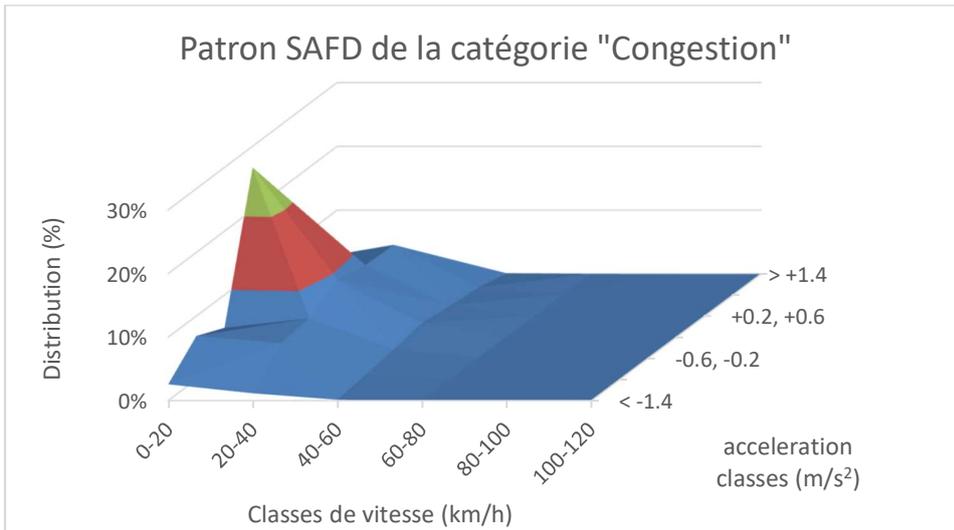


Figure 18. Patron moyen SAFD de la catégorie de microtrips « Congestion »

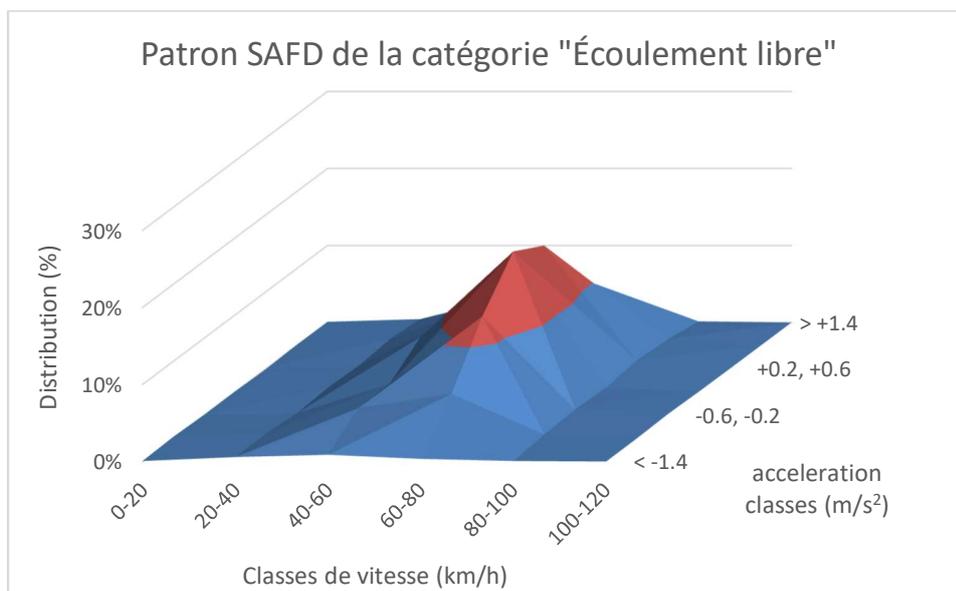


Figure 19. Patron moyen SAFD de la catégorie de microtrips « Écoulement libre »

Step 4: Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation choisis dans cette étude sont sélectionnés parmi la liste la plus complète proposée par Ashtari et al. (2014). L'avance de cette liste par rapport à celle d'autres études est que les auteurs ont tenu compte du SAFD et des propriétés de la route. Le Tableau 5 présente une liste des paramètres choisis.

Tableau 5. Critères d'évaluation

Critère	Unité
Différence de SAFD	%
Vitesse moyenne du cycle de conduite complet	Km/h
Vitesse moyenne en mouvement	Km/h
Vitesse maximale	Km/h
Accélération moyenne de toutes les accélérations	m/s ²
Décélération moyenne de toutes les décélérations	m/s ²
Nombre moyen de changements accélération/ décélération (et vice-versa)	
Moyenne quadratique de l'accélération	m/s ²
Puissance moyenne utilisée sur route	kW
Proportion de temps pour différents modes de conduite:	
Attente (speed = 0)	%
Accélération (accélération ≥ 0.1 m/s ²)	%
Constante (- 0.1 m/s ² < acceleration < 0.1 m/s ² , average)	%
Décélération (accélération ≤ -0.1 m/s ²)	%
Lente (- 0.1 m/s ² < acceleration < 0.1 m/s ² , average speed < 5 m/s)	%

Chacun de ces paramètres est calculé pour la base de données complète (données observées) et les résultats correspondent aux valeurs cibles.



Step 5: Construction du cycle de conduite

L'algorithme de construction d'un cycle de conduite est programmé en R; le même code est utilisé pour l'ensemble des méthodes. Dans la première étape, le microtrip initial est choisi au sein des premiers microtrips de chaque trajet. Nous disposons de 45 tours (45 trajets observés) : il y a donc 45 possibles microtrips de départ. Il est important de noter que le microtrip initial ne correspond pas à une situation de démarrage à froid puisque le véhicule était conduit en boucle; ainsi, tous les tours ne s'amorcent pas en état immobile. Dans cette étude, chacun de ces 45 microtrips de départ a été utilisé pour initialiser la construction d'un cycle de conduite.

Dans la seconde étape, il faut identifier les microtrips successifs. Ainsi, le second microtrip est choisi à l'aide de la modélisation par chaîne de Markov. Cette méthode est basée sur la matrice de transition qui contient grosso modo la probabilité que deux types de microtrips se suivent. Après avoir identifié la catégorie de laquelle tirer le 2^e microtrip, on retire les microtrips dont la vitesse initiale est inférieure de 2 km/h de celle de fin du microtrip précédent. Chaque microtrip restant est ensuite ajouté un à la fois au premier microtrip et les critères d'évaluation sont estimés pour le profil entier. Une portion de la séquence de catégories obtenue de la matrice de transition et du processus de Markov est montré au Tableau 6.

Tableau 6. Séquence de catégories de microtrips identifiée à l'aide de la matrice de transition et du processus de Markov (CL pour cluster) - exemple basé sur une catégorisation en 7 groupes

	Fin	CL_1	CL_2	CL_3	CL_4	CL_5	CL_6	CL_7
Début	0%	9%	44%	31%	9%	0%	2%	4%
CL_1	0%	5%	35%	2%	50%	1%	7%	0%
CL_2	2%	30%	15%	51%	0%	1%	0%	2%
CL_3	0%	3%	8%	2%	76%	1%	9%	1%
CL_4	0%	22%	0%	0%	1%	57%	0%	19%
CL_5	0%	2%	1%	0%	1%	3%	91%	2%
CL_6	0%	56%	0%	0%	1%	6%	0%	37%
CL_7	0%	2%	90%	1%	6%	0%	1%	1%

La sélection finale est basée sur les critères d'évaluation; ainsi, le microtrip étant le plus près de la valeur cible est retenu. Pour déterminer la meilleure correspondance, une méthode de classement similaire au processus proposé par Ashtari et al. (2014) est utilisée. Selon cette méthode, la différence entre le nouveau profil de conduite et le profil cible est calculée par une matrice $n \times 14$, n étant le nombre de microtrips disponible et 14 le nombre de critères d'évaluation. Ensuite, la matrice est triée sur la valeur de chaque paramètre le rang de chaque profil est enregistré dans une autre matrice $n \times 14$. Finalement, tous les rangs sont additionnés : le profil ayant la valeur la plus faible de rang est considéré le meilleur.

Après avoir choisi le meilleur microtrip, l'algorithme se poursuit en répétant la seconde étape et en ajoutant un autre microtrip. Cette itération se poursuit jusqu'à ce que le profil atteigne la durée ciblée. Dans ce cas, la durée cible est de 46 minutes (qui est la longueur moyenne d'un circuit). 45 cycles de conduite ont été produits pour chaque méthode et le meilleur cycle de conduite est choisi. Cette procédure est répétée pour chaque définition de microtrip et un total de 10 cycles de conduite sont produits sur la base de 10 définitions différentes des microtrips. À la fin, les critères

d'évaluation de ces 10 cycles de conduite sont comparés avec les valeurs cibles et la meilleure définition de microtrip est identifiée.

3.1.4 Résultats

Tel que mentionné dans la méthodologie, on trouve 6 définitions principales des microtrips qui sont évaluées dans cette étude. Chaque définition de microtrip affecte les caractéristiques des microtrips et des cycles de conduite. Une des principales caractéristiques du microtrip est sa longueur. La Figure 21 démontre la distribution cumulative de la longueur des microtrips. Cette figure démontre que les définitions peuvent être classées en deux catégories distinctes relativement à la durée des microtrips. Certaines définitions se traduisent par de très courts microtrips telles que : MLE, intervalles de vitesses et k-moyenne. Plusieurs argumentent que les très courts microtrips ne peuvent représenter réalistement les comportements de conduite; en outre, quelque 80% des microtrips produits par les méthodes EM et k-moyenne ont moins de 10 secondes. Aussi, puisque l'accélération est calculée directement à partir de la vitesse, tel qu'observé à la Figure 20, la segmentation en microtrip présente un patron plutôt erratique. Par conséquent, dans une seconde tentative, nous avons lissé le profil d'accélération. Ce lissage consiste à estimer l'accélération moyenne en tenant compte, à chaque seconde, les deux secondes précédant et suivant le point. Cette méthode permet d'améliorer légèrement le profil d'accélération (en limitant le bruit) et de réduire le pourcentage de microtrips de moins de 10 secondes à 75%.

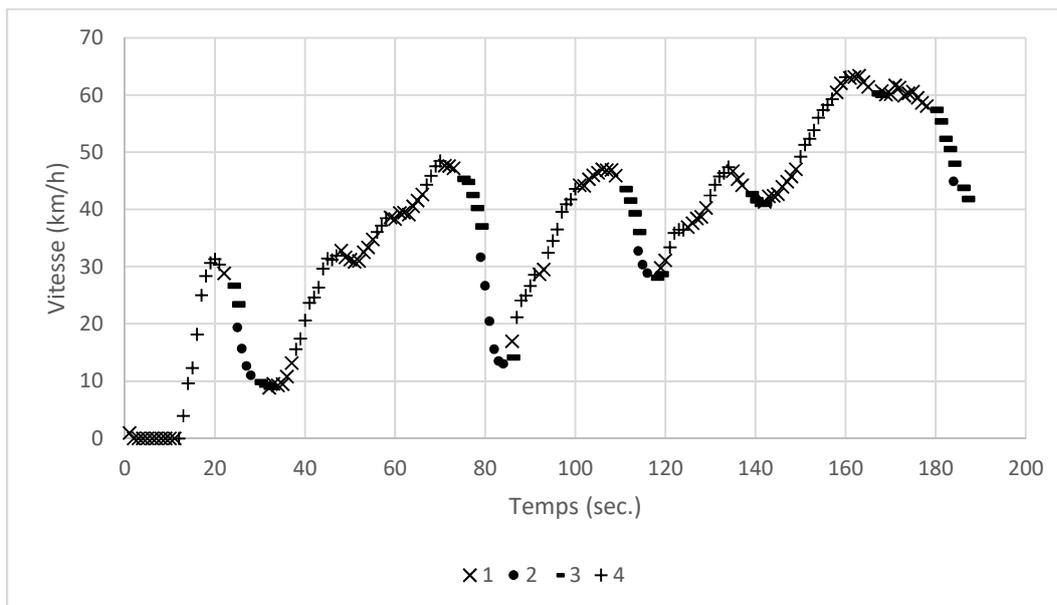


Figure 20. Segmentation des microtrips selon la méthode de classification EM sur les profils d'accélération

L'autre catégorie de définition de microtrips implique des microtrips plus longs qui sont définis sur la base de séquence d'arrêts ou d'intersections ou d'une distance fixe. L'approche par durée similaire n'est pas illustrée dans la figure puisque dans cette approche, tous les microtrips ont la même longueur. Certains auteurs suggèrent que les microtrips très courts ne sont pas nécessairement représentatifs des véritables comportements de conduite (André, 2004a) alors que d'autres auteurs ne considèrent pas ce paramètre dans leurs analyses. Par exemple, certains considèrent que les méthodes de classification k-moyenne et EM, qui produisent des microtrips très courts, peuvent couvrir les propriétés de conduite mieux que les autres méthodes puisqu'elles sont basées sur les événements d'accélération (Lin & Niemeier, 2002).

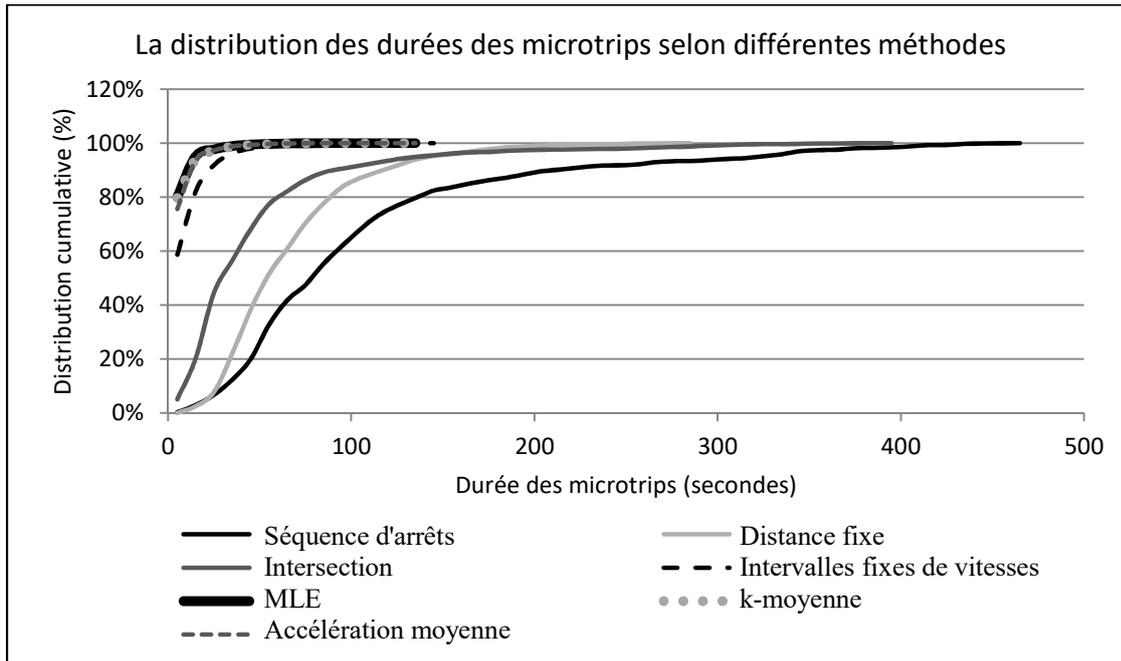


Figure 21. Distribution des durées de microtrips selon différentes méthodes d'identification

Après la construction des cycles de conduite, ceux-ci sont comparés aux valeurs cibles puis classés afin de déterminer le meilleur cycle de conduite. Un total de 10 cycles de conduite sont développés, un pour chaque méthode (et sous-méthode). Sur la base du processus de classification (impliquant l'ensemble des critères), les méthodes sont classées comme suit (en partant de la meilleure):

- 1) Distance fixe
- 2) Intersection
- 3) Séquence d'arrêts
- 4) Intervalle fixe de 40 secondes
- 5) Intervalle fixe de 20 secondes
- 6) Classes d'événements basés sur l'accélération moyenne
- 7) Intervalles fixes de vitesses
- 8) Intervalle fixe de 60 secondes
- 9) Classes d'événements basés sur MLE
- 10) Classes d'événements basés sur k-moyenne

Les différences entre les valeurs moyennes (obtenues de l'ensemble des données disponibles) et les données obtenues à l'aide de chaque méthode sont fournies au Tableau 7.



Tableau 7. Différences entre les valeurs moyennes (toute la base de données) et les valeurs obtenues de chaque méthode

Méthode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SAFD	0.288	0.483	0.453	0.304	0.085	0.263	0.434	6.225	0.871	2.460
Vitesse moyenne	0.472	0.155	0.200	0.002	0.238	0.009	0.128	0.293	0.656	0.009
Vitesse moyenne en mouvement	0.604	0.242	0.554	0.043	0.348	6.335	1.087	3.699	7.000	6.353
Vitesse maximale	24	31	15	31	30	7	26	7	29	17
Accélération moyenne	0.001	0.000	0.003	0.001	0.014	0.004	0.019	0.000	0.012	0.000
Décélération moyenne	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.021	0.002	0.001	0.001	0.031
Nombre d'accélération	226	226	226	226	225	226	223	224	220	225
Accélération moyenne quadratique	0.002	0.001	0.000	0.001	0.003	0.000	0.049	0.004	0.001	0.003
Puissance moyenne	0.151	0.003	0.006	0.072	0.039	0.153	0.076	0.209	0.210	0.065
Temps à l'arrêt	0.000	0.001	0.008	0.001	0.001	0.004	0.024	0.095	0.049	0.080
Temps d'accélération	0.000	0.001	0.005	0.003	0.001	0.002	0.002	0.013	0.029	0.029
Temps en vitesse de croisière	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.022	0.000	0.020	0.002
Temps de décélération	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.071	0.000	0.014
Temps en vitesse réduite	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.011	0.000	0.039



Notre analyse montre que la méthode par distance fixe fournit une meilleure définition de microtrips; à notre connaissance, cette méthode n'avait pas été expérimentée ni testée dans la littérature jusqu'à présent. En plus de ses meilleures performances, c'est aussi une méthode simple à appliquer pour les praticiens puisque cela réduit la complexité de production de cycles de conduite. Aussi, puisque cette méthode se traduit par des microtrips plus longs à comparer, le processus de développement exige moins de temps. En effet, le temps de traitement peut devenir un véritable enjeu lorsque plusieurs années de données deviennent disponibles, ce qui est de plus en plus fréquent.

3.1.5 Conclusion

La définition d'un microtrips peut avoir un impact important sur le développement des cycles de conduite et ceci est souvent négligé. Dans cette étude, nous avons démontré que les méthodes spatiales de définition des microtrips fournissent de meilleurs résultats. La procédure de développement d'un cycle de conduite exige beaucoup de données de conduite représentant plusieurs types de véhicules, types de chauffeurs, types de routes, type de conditions de circulation et autres, et ce afin de permettre le développement de plusieurs cycles de conduite pour différentes situations types. Une des limites de cette étude est justement le fait que la base de données recueillie demeure limitée sur certaines de ces composantes. Il serait intéressant de pouvoir utiliser des données recueillies en conditions réelles de conduite, couvrant un plus large spectre de conditions.



3.2 Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport

- Étudiant : Kinan Bahbouh (doctorat en cotutelle avec l'INSA de Lyon)
- Supervision : Morency / Berdier (INSA)
- État : Fin décembre 2016
- Financement : Partiel Chaire / CRSNG / France
- Référence : Bahbouh, K. (2016). Corridors de demande : modélisation et contributions à l'évaluation du niveau de durabilité (Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal). Tiré de <https://publications.polymtl.ca/2433/>

***** *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* *****

3.2.1 Introduction

L'étude des corridors est un type d'étude de planification des transports qui permet de mieux comprendre la mobilité collective à travers l'identification et l'analyse des grands axes de déplacements (Ohio Department of Transportation, 2013).

Deux approches peuvent être distinguées dans la littérature concernant l'étude des corridors de transport. La première approche repose sur les corridors d'offre qui identifient les axes denses de déplacements sur le réseau ou les services. La deuxième approche repose sur les corridors de demande qui synthétisent la demande (i.e. paires OD) en l'absence de l'influence directe de l'offre, ce qui permet de visualiser et de comprendre la mobilité, à l'échelle collective, sans aucun a priori.

Le choix du type de corridor s'avère important dans l'étude et l'analyse des corridors. Cependant, il y a peu de littérature qui couvre et aborde les corridors en tant qu'unité indépendante de la présence des centres urbains, des pôles économiques, ou des infrastructures et services de transport. Le but de ce résumé est de contribuer à la clarification et l'opérationnalisation du concept de corridor de demande en tant que représentant neutre de la mobilité collective aboutie à partir de la mobilité individuelle.

Dans les deux précédents rapports de la Chaire Mobilité l'accent a été mis sur la clarification de la définition et du concept de corridor ainsi que sur la proposition d'une approche de modélisation permettant d'identifier les corridors à partir des données OD. Le présent rapport continue dans la même direction en offrant une clarification des potentiels des différents types de corridors, car avec le même ensemble de données plusieurs corridors peuvent être identifiés.

Ce rapport propose une typologie qui consiste en trois types de corridors : les corridors interzonaux, les corridors-segments et les corridors convexes. Ensuite, il présente, à travers un exemple de l'enquête OD 2008 de la grande région de Montréal, trois exemples permettant de souligner les potentiels de chaque type dans le processus de planification.

3.2.2 Identification des corridors de demande

Dans les dernières années, diverses approches ont été élaborées et intégrées dans les processus de planification pour identifier et visualiser les corridors de demande à partir des données OD. La littérature permet d'identifier trois approches distinctes: (1) *l'agrégation spatiale (zonale)* qui regroupe les déplacements similaires (points OD) en se basant sur l'affiliation spatiale, (2)

l'approche partition-regroupement qui segmente les trajectoires (lignes de désir) afin de regrouper les segments similaires pour former les corridors et (3) *le regroupement des trajectoires « en entier »* qui regroupe les lignes de désir, étant considérées entièrement similaires, pour identifier les corridors.

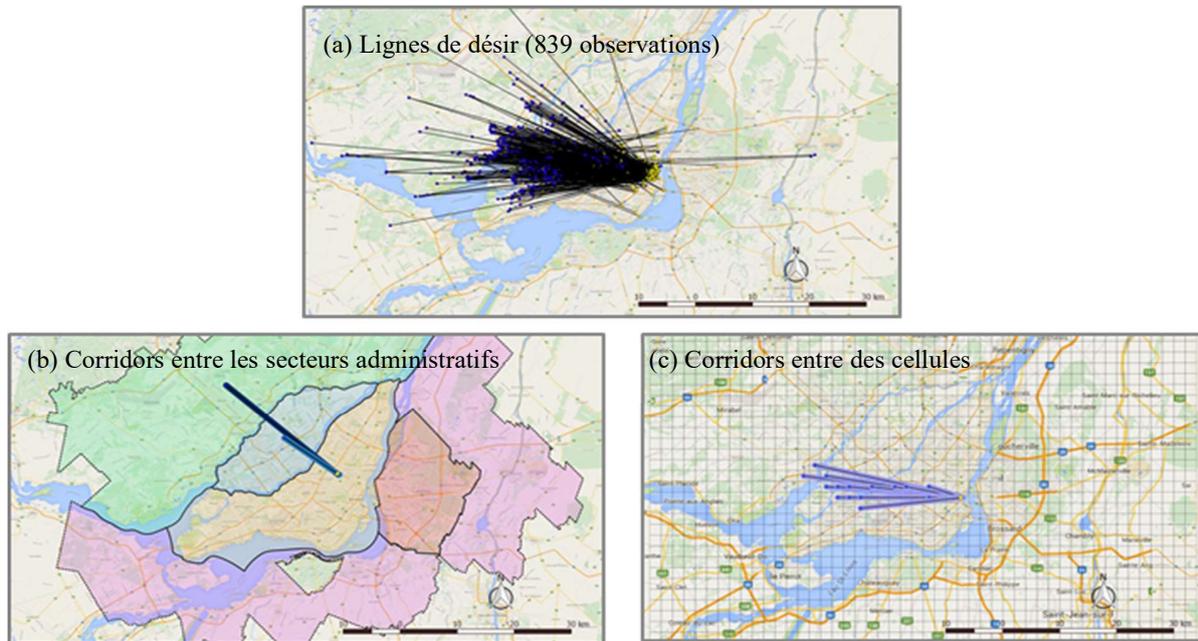


Figure 22. Corridors entre des unités prédélimitées

L'agrégation spatiale est une approche largement appliquée dans la planification des transports. Elle permet de représenter le flux origine-destination entre les unités spatiales prédélimitées (zones administratives, cellules, etc.). Bien que le flux entre les différentes unités fournisse un portrait global de la mobilité, il souffre de l'absence de précision, car différentes unités prédélimitées peuvent donner des résultats différents. La Figure 22(a) présente 839 lignes de désir de l'enquête OD Montréal 2008; la Figure 22(b) synthétise ces observations en utilisant des corridors (ayant au moins 10 observations / corridor) entre les secteurs métropolitains et la Figure 22(c) illustre les corridors entre des cellules (ayant une largeur de 2 km).

Des chercheurs ont tenté de contourner l'inconvénient des unités prédélimitées en proposant des concepts de délimitation spatiale « flexible » (postdélimitée). Des variables telles que la ressemblance entre les composants des déplacements ou la densité des points sont utilisées pour délimiter les unités spatiales et puis identifier les corridors. Les polygones de Voronoï sont des exemples simples dans cette direction : ce concept a été utilisé pour identifier les corridors après avoir délimité les unités selon une approche de proximités des points OD (Mota et al., 2014, Bahoken et Olteanu-Raimond (2013). Dans un contexte plus complexe, l'algorithme TraClass (Lee et al, 2008) identifie les corridors en utilisant une approche de délimitation, *region-based clustering*, qui consiste à délimiter les unités selon la localisation des trajectoires et l'approche de Minimum Description Length (MDL). Guo et Zhu (2014) proposent un algorithme qui utilise les données OD et l'approche *Kernel density* afin d'identifier les flux interzonaux. Bahbouh et al. (2015) ont montré la possibilité d'utiliser une approche dérivée de l'algorithme Trajectoire Clustering for Desire Lines (TraClus-DL) en se basant sur la densité des points OD et la direction des lignes de désir.



En ce qui concerne l'*approche partition-regroupement*, l'algorithme TraClus-DL est un bon représentant de cette approche, il divise les lignes de désir en segments afin de rassembler les segments similaires dans des corridors "courts" en utilisant quatre paramètres (Bahbouh et Moency, 2015).

Le *regroupement de trajectoires « en entier »* cherche à mesurer la similarité entre les lignes de désir afin de regrouper celles qui partagent certaines caractéristiques (ex. traversant une zone). Des équations simples ou complexes peuvent aussi être utilisées pour mesurer la similarité entre les trajectoires, telles que la distance euclidienne, la MDL, ou le Longest Common SubSequence (LCSS) (Vlachos et al., 2002, Grünwald et al. 2005). Il convient de noter que de nombreux algorithmes utilisent et appliquent l'approche sur des trajectoires complexes, cependant leur application directe sur des trajectoires simples « lignes de désir » n'est pas toujours satisfaisante.

Dans l'approche *regroupement « en entier »* nous trouvons l'algorithme TraClus (Lee et al., 2007) qui utilise une équation LMD pour mesurer la similarité. Bien que TraClus soit conçu selon l'approche partition-regroupement nos expériences montrent qu'il a tendance à fonctionner selon l'approche regroupement en entier quand il est appliqué sur les lignes de désir.

3.2.3 Typologie des corridors de demande

La revue de littérature nous permet de distinguer trois principaux types de corridors de demande selon la façon dont la similarité des composants des corridors est perçue : (a) les corridors interzonaux (b) les corridors-segments et (c) les corridors convexes. La description de chaque type est présentée ci-dessous :

- Les corridors interzonaux caractérisent le mouvement entre les différentes zones (unités spatiales) et ils sont généralement représentés comme des axes entre les centroïdes des zones. Le processus d'identification repose sur l'agrégation spatiale en utilisant des unités prédélimitées ou post-délimitées. Ce type de corridor permet de présenter un portrait global de la mobilité interzonale. La Figure 23(a) présente les corridors interzonaux qui enveloppent au moins trois lignes de désir.
- Les corridors-segments sont des corridors « courts » qui caractérisent les parties denses, en déplacements, dans une zone. Le processus d'identification repose sur l'encapsulation des segments similaires pour former un corridor en utilisant l'approche *partition-regroupement*. Unir les corridors-segments successifs peut conduire à une identification d'un long corridor qui a la forme d'un corridor interzonal dans certains cas. Ce type de corridor peut être utilisé pour tracer et identifier les axes qui optimisent les déplacements à l'échelle collective. La Figure 23(b) présente des corridors-segments ayant au moins trois segments par corridor.
- Les corridors convexes caractérisent le mouvement global dans une zone. Le processus d'identification repose sur l'encapsulation des lignes de désir similaires en utilisant une équation pour évaluer le niveau de similarité entre celles-ci. L'équation de similarité peut comprendre certaines caractéristiques associées aux lignes (ex. traversant des zones pré/post-délimitées spécifiques). La Figure 23(c) présente un corridor convexe qui enveloppe au moins trois lignes de désir traversant la rivière (zone prédélimitée) ou le corridor qui enveloppe les déplacements traversant la zone ayant la plus haute concentration de lignes de désir (zone postdélimitée). La Figure 23(d) présente un corridor qui enveloppe des lignes considérées comme similaires (ayant la même direction).

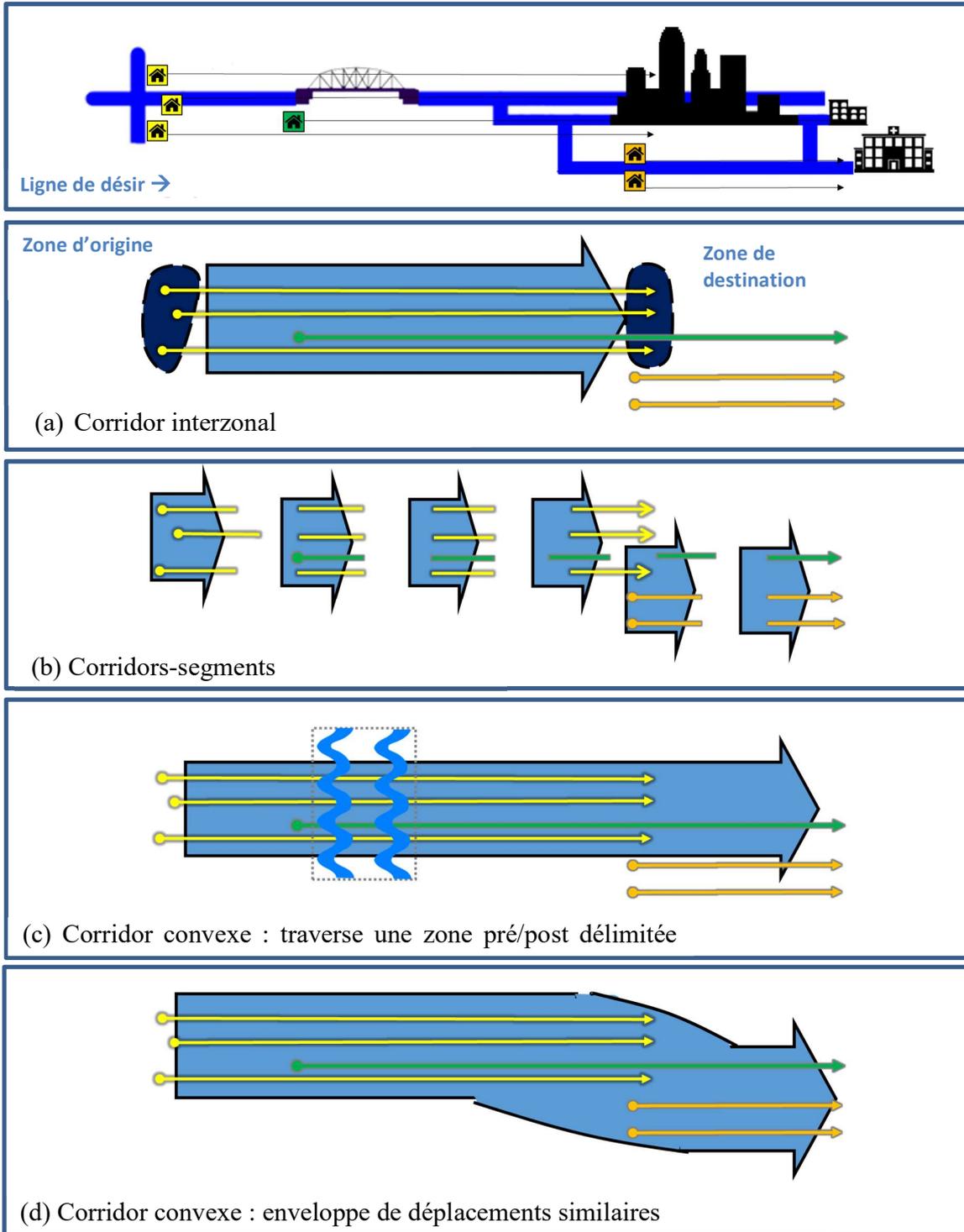


Figure 23. Différents types de corridor de demande

3.2.4 Méthodologie

La partie expérimentale de notre recherche vise à identifier les trois types de corridors de demande à partir du même ensemble de données, des paires OD désagrégées, pour clarifier et illustrer les applications potentielles de chaque type.

La sélection des données

Par souci de simplification, nous avons sélectionné un ensemble de données de l'enquête OD 2008 de la grande région Montréal composé de 839 paires OD (représentant 21 465 déplacements). L'ensemble de ces observations représente les déplacements qui impliquent l'utilisation de la ligne de train Deux-Montagnes pendant la période du matin (entre 5h et 12h).

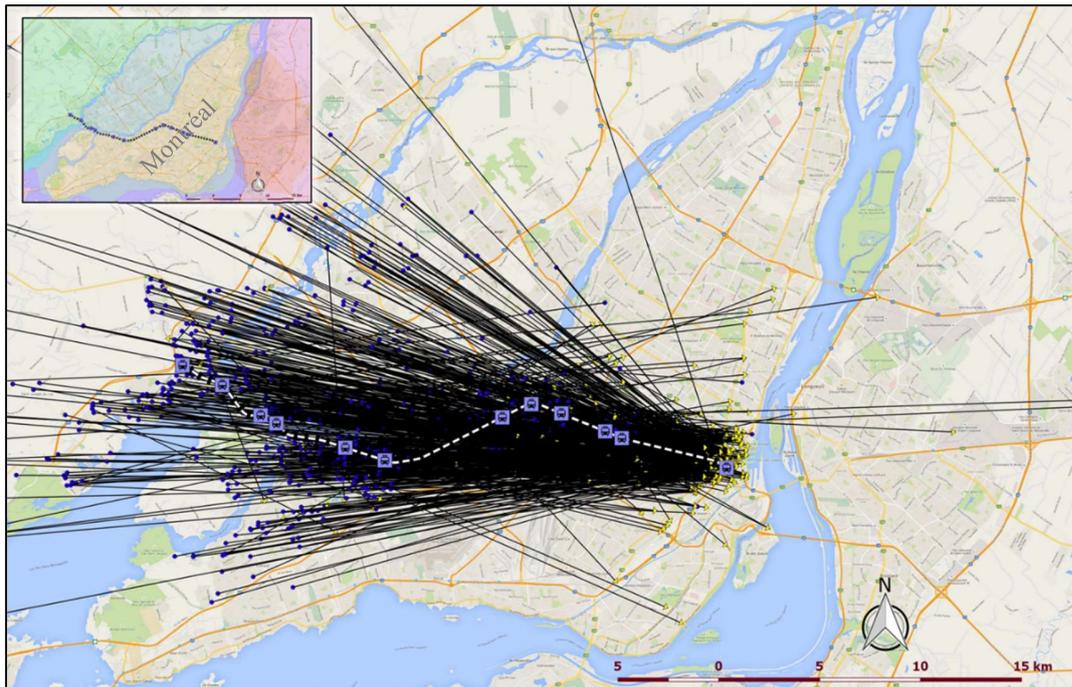


Figure 24. Déplacements (lignes de désir) ayant utilisé le train Deux-Montagnes le matin.

Approche d'identification (TraCLUS-DL)

Nous avons utilisé l'algorithme TraCLUS-DL pour identifier les trois types de corridors. L'algorithme est conçu selon l'approche partition-regroupement pour identifier les corridors-segments. Il est possible, avec des petits ajustements, d'identifier les corridors convexes ou les corridors interzonaux.

L'algorithme utilise quatre paramètres d'entrées : *segment_length*, *min_weight*, *max_distance* et *angle_max*. TraCLUS-DL divise les lignes de désir en segments égaux selon *segment_length*, puis il identifie la présence d'un nombre minimal de segments similaires, *min_weight*, dans une zone ayant un rayon de *max_distance*. Ensuite, TraCLUS-DL évalue la similarité entre les segments dans un groupe (corridor) en mesurant la différence entre l'angle des segments et l'axe du corridor; cet angle ne doit pas dépasser un *angle_max*. Plus d'informations sur TraCLUS-DL sont disponibles dans la littérature.



Identification et analyses des résultats

Les corridors interzonaux

L'objectif de cette étude de cas est d'identifier les corridors interzonaux qui regroupent au moins 10 lignes de désir avec des zones postdélimitées.

Données : 839 paires OD empruntant la ligne Deux-Montagnes entre 5h-12h

Méthode : TraClus-DL « adapté à l'identification interzonale »

Paramètres :

segment_length = 1 mètre (pour assimiler les points OD);

min_weight = 5 segments (pour améliorer la possibilité de trouver des corridors de 10 observations);

max_distance = 500 mètres,

angle_max = 5° (un angle égal à 0 indique segments parallèles); cet angle correspond à l'angle maximal autorisé entre un axe du corridor et des lignes de désir en cluster. Dans l'exemple des grilles précédentes, la Figure 22(c), un nombre total de 230 lignes de désir ont été regroupés, et les angles entre les lignes de désir et de l'axe du couloir étaient entre 5 et 19° degrés

Résultats :

12 corridors regroupant 299 lignes de désir (représentant 7,727 voyages) ont été identifiés. Les Figure 25(a), (b) et (c) illustrent les zones d'origine et de destination (postdélimitées), les lignes de désir regroupées et les 12 axes des corridors.

Chaque corridor regroupe des lignes de désir (déplacements) très semblables (identiques) d'un point de vue spatial. Ces corridors permettent d'identifier les principaux patrons de mobilité, des clients sensibles ou cibles à n'importe quel changement au niveau des services dans une zone.

Pour mieux clarifier les potentiels d'utilisation, nous avons utilisé les variables associées à chaque paire OD (heure de départ, station d'entrée, mode d'accès) pour analyser les corridors.

La Figure 25(d) présente la répartition des déplacements selon l'heure de départ par corridor et la Figure 25(e) présente un des corridors (corridor #3). Le corridor #3 regroupe 21 lignes de désir (représentant 564 déplacements) et relie une zone d'origine de 1.2 km² de surface à une zone de destination de 4 km² de surface; les usagers du corridor, Figure 25(f), utilisant 2 gares (gare Deux-Montagnes ou la gare grande Moulin) avec le Kiss-and-Ride (KR) comme un mode dominant d'accès.

En plus, la comparaison des informations provenant des déplacements similaires (identiques au niveau spatial) permet d'évaluer la qualité de l'offre. Dans la nouvelle enquête, OD 2013 de Montréal, une variable concernant la durée de déplacements a été rajoutée. La comparaison des durées de déplacements dans un corridor interzonal permet d'évaluer l'offre (ex. congestion selon l'heure de départ) sans l'utilisation des informations de l'offre.

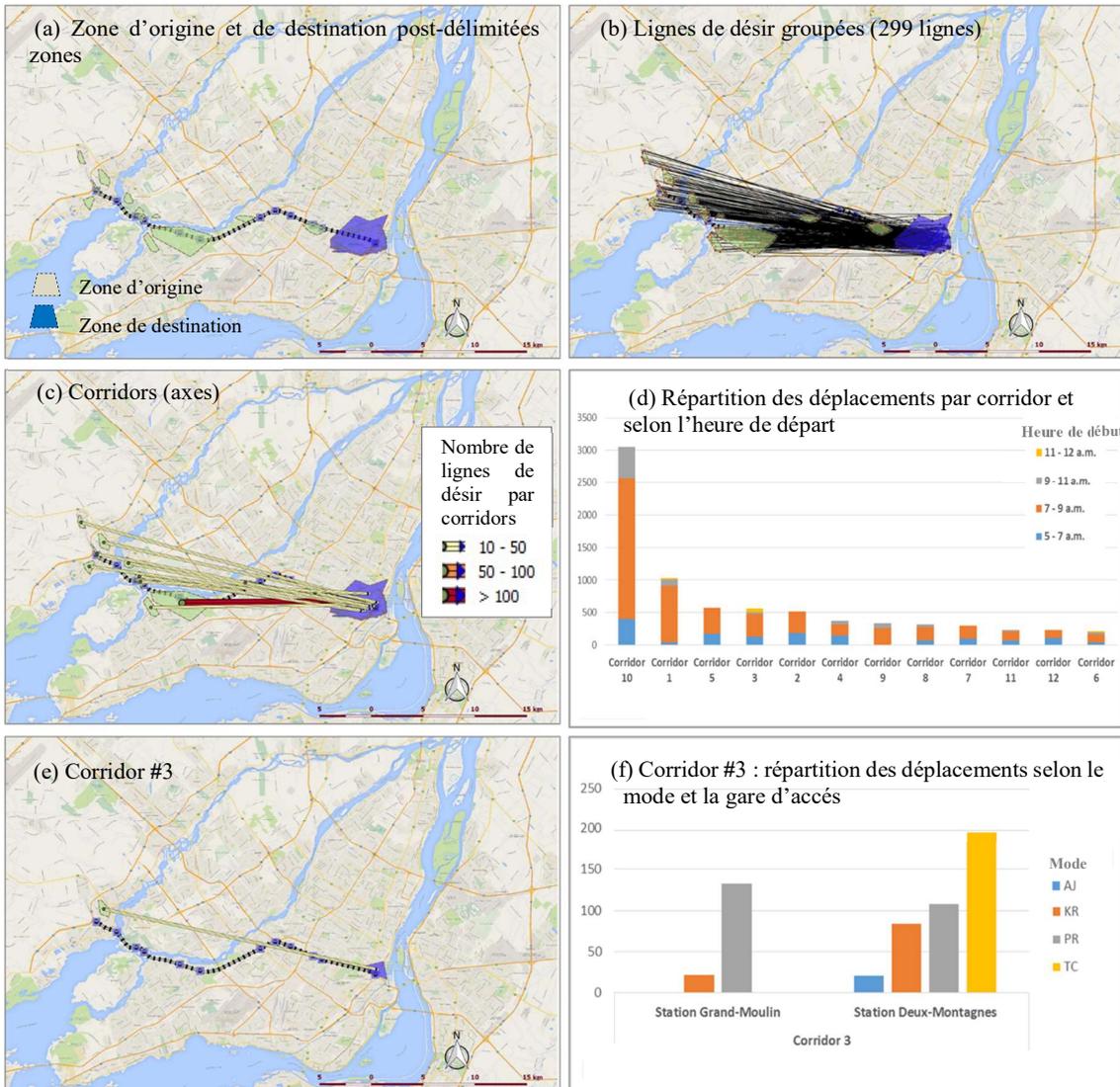


Figure 25. Identification et analyses des corridors interzonaux

Corridors-segments

L'objectif de cette étude est de comparer la forme d'un corridor d'offre avec celle de corridors de demande.

Données : 839 paires OD empruntant la ligne Deux-Montagnes entre 5h-12h.

Méthode : TraClus-DL.

Paramètres :

segment_length = 1000 mètres.

min_weight = 50 segments.

max_distance = 2500 mètres.

Max_angle : $22,5^\circ$ (correspond à l'angle maximal qui empêche le regroupement des deux lignes de désir avec une différence d'angle de 90° degrés dans le même corridor).

Résultats :

La Figure 26(a) présente les corridors segments « courts » ayant au moins 50 segments. Le nombre maximum de segments regroupés dans un couloir est 750 segments. Relier les corridors (smoothing) permet de comparer facilement la forme du corridor d'offre avec celles deux corridors de demande, voir la Figure 26(b) et (c).

Pour mesurer la similarité entre les deux polygones, nous avons utilisé l'approche de SSCFT testé par Mohamed et Saunier (2015). 15 points différents ont été utilisés sur chaque corridor pour évaluer le niveau de similarité entre les deux corridors à partir d'une distance de référence acceptable (tampon). Les résultats montrent que les deux polygones ont un niveau de similarité de 46% avec une distance acceptable de 1 km, 67% de similarité avec une distance acceptable de 1.5 km et de 80% de similarité pour une distance acceptable de 2.5 km.

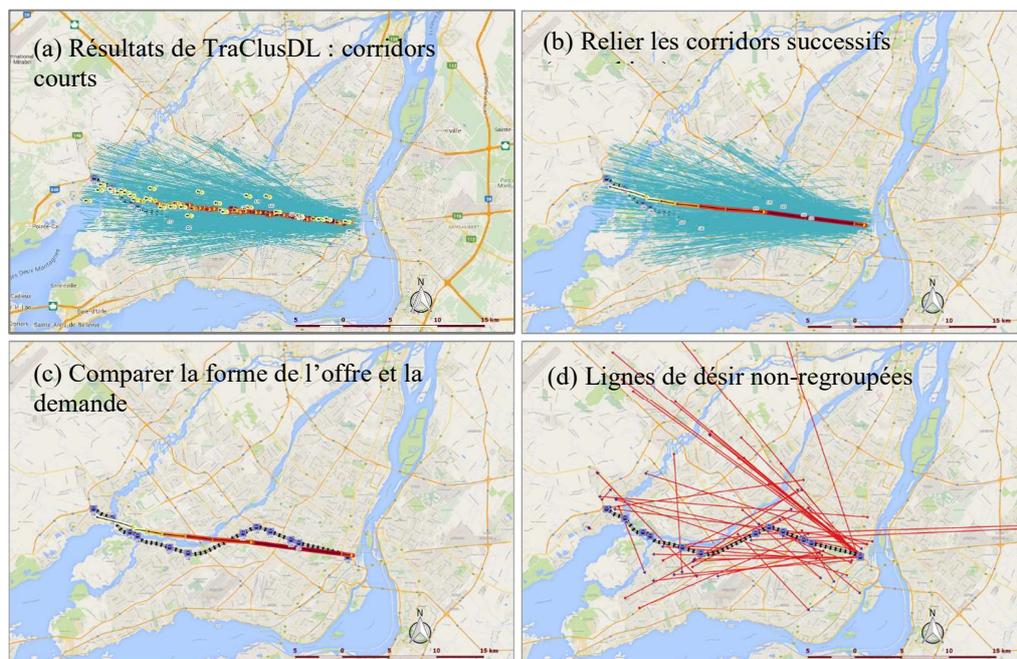


Figure 26. Corridors-segments



Corridors convexes

L'objectif de cette étude est d'identifier et de caractériser les corridors convexes qui encapsulent les déplacements non-regroupés à l'étude précédente.

Données : 56 paires OD (représentant les 1 514 déplacements non regroupés dans l'étude précédente).

Méthode : TraClus-DL.

Paramètres :

segment_length = 1000 mètres.

min_weight = 5 segments.

max_distance = 2500 mètres.

Max_angle : 22,5 °.

Résultats :

Quatre corridors convexes sont identifiés, voir la Figure 27 (a) et (b). Un classement basé sur le nombre ou la densité des déplacements dans un corridor peut aider à caractériser l'importance des corridors, Les Figure 27 (b) et (c) illustrent des classements basés sur le nombre et la densité des déplacements.

L'utilisation des caractéristiques des paire OD permet d'avoir d'autres types de classements; les Figure 27 (d) et (e) présentent quelques caractéristiques du corridor #1.

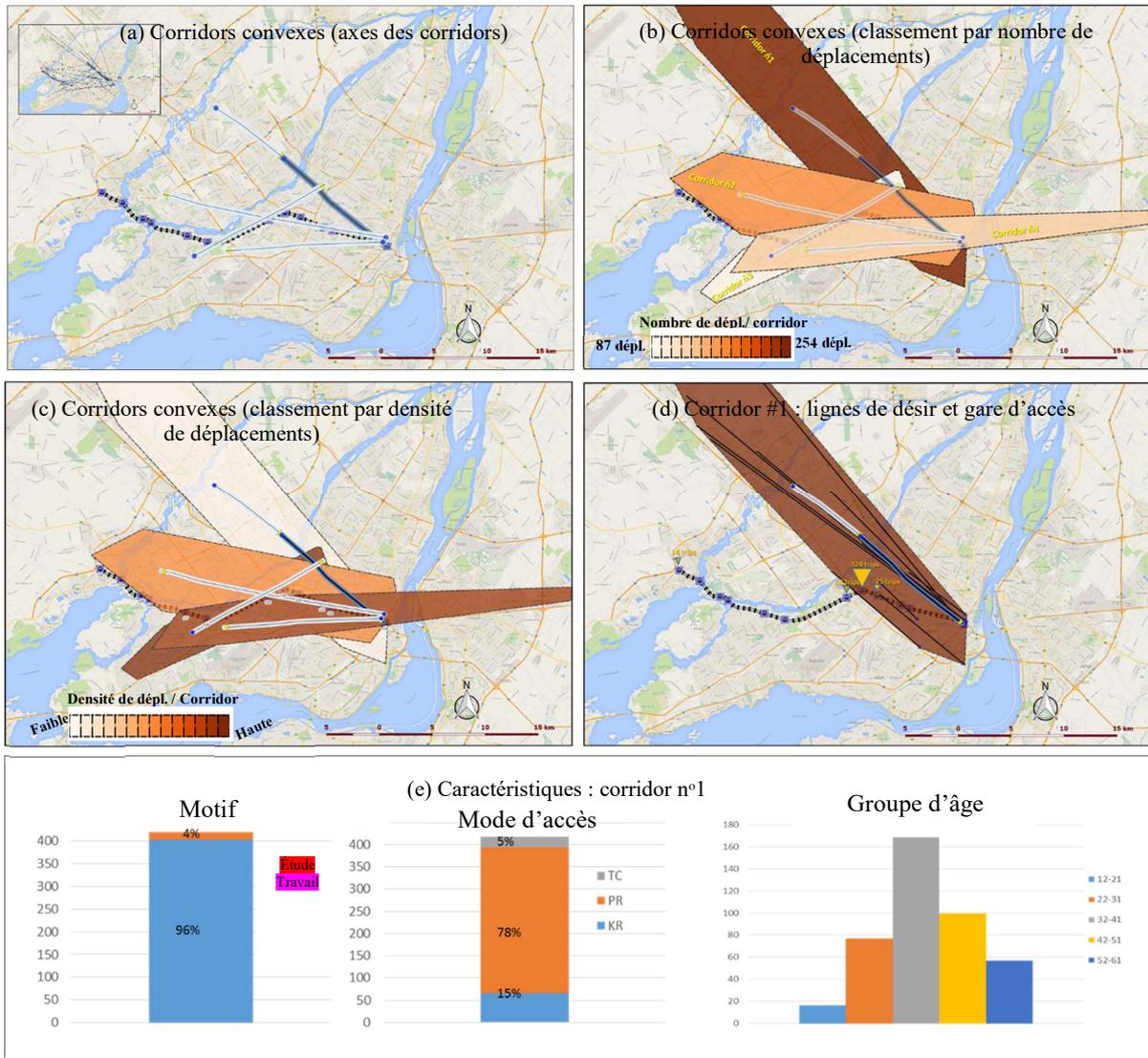


Figure 27. Corridors convexes

3.2.1 Conclusion

Au début de ce rapport, nous avons défini et présenté une typologie du corridor de la demande. Nous avons ensuite illustré les trois types de corridor en appliquant un algorithme, TraClus-DL, à un ensemble de données OD de la grande région de Montréal. À l'aide d'une étude expérimentale, les potentiels d'utilisation de chaque type de corridor dans les processus de prise de décision et de planification ont été clarifiés.

Nous avons présenté les corridors du plus spécifique au plus globaux. Dans les processus de planification l'identification il sera peut-être plus intéressant de commencer par l'identification des corridors globaux.

Les corridors convexes sont les corridors le plus globaux, ils identifient les grandes tendances de mouvements dans une zone, ce qui peut être utile dans la planification stratégique quand une priorisation des zones d'étude et d'analyse est nécessaire.



Identifier et étudier les corridors segments dans un corridor convexe permet de représenter les parties de la demande qui peuvent être regroupées afin de diagnostiquer l'offre et d'identifier les zones denses en déplacements où la distance collective peut être réduite.

Les corridors interzonaux identifient les groupes de déplacements similaires, cette identification permet de comparer les expériences similaires, de proposer des améliorations et d'évaluer les impacts d'un changement sur un groupe d'utilisateur.

En fin, nous avons utilisé des données de l'enquête OD 2008, d'autres sources de données (GPS, carte à puce, enquête, prévision de la demande, etc.) peuvent être utilisées.



3.3 Segmentation de la population

- Étudiante : Farhana Yasmin
- Supervision : Morency / Roorda (University of Toronto)
- État : Fin avril 2016
- Financement : Projet MTQ / Partiel Chaire
- Référence : Yasmin, F. (2016). Enhancing the Modelling of Travel Demand Using an Activity-Based Approach (Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal). Tiré de <https://publications.polymtl.ca/2117/>

3.3.1 Introduction

La segmentation est un excellent outil pour mieux comprendre la similarité des besoins et comportements des individus. Cependant, en modélisation de la demande de transport, les classifications a priori ou modèles à classes latentes sont fréquents (Ishaq, 2011). L'utilisation d'un processus de segmentation pour classer les individus dans une perspectives de modélisation basée activités est encore rare. Cette recherche s'intéresse aux méthodes permettant d'obtenir des segments optimaux de population sur la base des patrons quotidiens typiques d'activités (notamment la fréquence d'activités, l'heure de début et la durée). Ainsi, cette recherche fait appel à des processus de segmentation (ou classification automatique) pour identifier des similarités dans les patrons quotidiens d'activités des individus. Les données de l'enquête Origine-Destination de 2003 sont utilisées (territoire de l'Île de Montréal). Cette recherche examine aussi l'évolution des segments sur une période de 5 ans en utilisant les données des enquêtes de 2003 et 2008.

3.3.2 Contexte

Les modèles de transport sont utilisés depuis déjà plusieurs décennies pour soutenir la planification des systèmes de transport. Toutefois, les politiques de transport telles que la gestion de la demande, les systèmes de transport intelligent ou les voies à occupation multiple exigent des outils de décision plus précis que le modèle agrégé à quatre étapes (Roorda & Miller, 2006; Shiftan et al., 2003). Dans les années 70s, les modèles basés activités ont émergé et ce, en réponse aux multiples limites associées aux modèles agrégés à quatre étapes. L'importance des modèles basés activités dans l'analyse de la demande de transport est bien reconnue dans la littérature (Bhat & Lawton, 2000; Kitamura, 1996; Kitamura et al. 1996; Shiftan et al., 2003). Néanmoins, les applications pratiques demeurent plutôt rares bien que leur déploiement se soit accéléré, et la majorité des modèles utilisés en pratique sont des modèles traditionnels (Arentze & Timmermans, 2008; Mohammadian et al. 2009; Shiftan et al., 2003). Pour augmenter les applications pratiques des modèles d'activités, certaines initiatives utiles sont requises. Par exemple, rendre ces modèles transférables d'un contexte à l'autre permettrait de réduire les coûts et l'expertise requises pour développer de nouveaux modèles dans d'autres contextes ce qui faciliterait leur utilisation dans un contexte pragmatique. Ainsi, la transférabilité spatiale de ces modèles doit être évaluée. Néanmoins, à ce jour, rares ont été les tentatives de transfert de modèles basés activités (Arentze et al., 2002; Auld & Mohammadian, 2012; Bowman et al, 2014; Yasmin et al., 2015a).

Dans le cadre de ce projet de recherche visant, à terme, à contribuer à l'amélioration de la méthode de prévision de la demande utilisée au Québec à l'aide des modèles d'activités, le modèle TASHA (Travel Activity Scheduler for Household Agents) a été transféré au contexte de l'Île de Montréal en s'appuyant sur les données de l'enquête OD 2003 (Yasmin et al., 2014; Yasmin et al., 2015a). TASHA est un modèle de microsimulation totalement désagrégé qui a été développé à Toronto à



l'aide des données de la 1996 Transportation Tomorrow Survey (TTS). L'application de TASHA au contexte de Montréal permet d'estimer des programmes quotidiens d'activités (individuels et conjoints) pour chaque individu du territoire à l'étude. Les attributs des activités modélisés par TASHA (fréquence, heure de début et durée) sont comparés aux attributs observés de l'enquête OD 2003 pour cinq types d'activités (travail, étude, magasinage, autre, et retour à la maison) pour évaluer la transférabilité du modèle TASHA à différents niveaux de résolution : macro, meso, micro (Yasmin et al., 2014). Les résultats de la validation à différents niveaux (particulièrement aux niveaux macro et meso) confirment le bon niveau de transférabilité du modèle TASHA, surtout dans le cas des activités contraintes (par exemple le travail et les études). Cependant, le modèle montrait de moins bonnes performances en ce qui concerne les activités non-contraintes comme le magasinage et les loisirs.

Différentes raisons peuvent expliquer les grandes différences observées entre les attributs simulés et observés dans le cas des activités non-contraintes (Yasmin et al., 2017). Une des raisons est que les distributions utilisées dans le modèle (fréquence, heure de départ et durée) sont basées sur les données de l'enquête torontoise de 1996 (Miller & Roorda, 2003; Roorda et al., 2008). Au total, 262 distributions ont été développées à partir des données observées, classées par type d'activité, attributs des personnes et des ménages et propriétés temporelles. Par exemple, un travailleur temps plein, âgé entre 26-64 ans fera un certain nombre de déplacements qui sera tiré d'une même distribution fixe. Une des limitations est donc que la classification relève davantage de l'intuition que de la similarité réelle des comportements, que la sélection des attributs utilisés pour générer les activités n'a pas été assistée par une démarche systématique qui permettrait d'obtenir quelque chose d'optimal. En outre, ces segments sont fixes à travers le temps ce qui limite la possibilité de tenir compte de certaines tendances; c'est aussi le cas des distributions qui sont aussi fixes à travers le temps. À propos de ce dernier point, une étude récente sur les tendances sur une période de 10 ans a justement confirmé que les distributions d'activités changent à travers le temps à Montréal (Yasmin et al, 2015b). Par exemple, ces auteurs ont observé que les patrons d'activités travail changent à travers le temps : la fréquence « 1 » augmente alors que la fréquence « 2+ » diminue. Ils ont aussi observé que moins d'individus retournent au domicile ou font d'autres activités pendant la période du dîner, ce qui explique la réduction de la fréquence des déplacements travail. Ainsi, certaines améliorations sont encore souhaitables dans le cadre conceptuel des modèles d'activités (i.e. TASHA) pour améliorer leur transférabilité spatiale.

Conséquemment, cette recherche s'intéresse aux questions suivantes : Comment obtenir des segments de population optimaux, sur la base des patrons quotidiens d'activités? Est-ce que les patrons d'activités et segments avec comportements similaires sont constants à travers le temps? Plus spécifiquement, cette recherche va recourir à différentes méthodes de classification pour identifier les similarités dans les patrons quotidiens d'activités des individus (fréquence, heure de début et durée) et segmenter la population sur la base de ces similarités. Cette recherche va aussi examiner les changements, à travers le temps, dans les patrons d'activités et dans les segments de population ayant des patrons d'activités similaire.

Méthode de segmentation (classification)

La classification automatique est une technique de fouille de données qui permet de classer en plusieurs groupes un ensemble d'objets physiques ou abstraits sur la base d'un ensemble de variables; ceci, afin que les objets similaires appartiennent au même groupe. Plusieurs méthodes de segmentation sont disponibles et les différentes méthodes de classification peuvent produire des



résultats différents. Ainsi, le chercheur doit être prudent lors du choix d'une méthode. Deux grandes classes de méthodes de classification sont étudiées dans cette recherche : les méthodes de partitionnement et les méthodes hiérarchiques.

Méthode de partitionnement

Une méthode de partitionnement affecte n objets d'une base de données D en k partitions, où chaque partition représente un groupe. Ces groupes doivent satisfaire à deux exigences : chaque groupe doit avoir au moins un objet et chaque objet doit appartenir à un groupe. Dans cette méthode, le nombre de groupes doit être fixé a priori. Choisir différents nombres de groupes pourra produire des résultats différents. Il est possible de régler ce problème en effectuant plusieurs classifications avec différents nombres de groupes et en choisissant, a posteriori, le nombre de groupes le plus approprié i.e. qui donne les meilleurs résultats (selon différentes mesures de validation). Il est aussi possible de faire une analyse de classification en recourant à d'autres approches (comme la méthode hiérarchique) pour identifier le meilleur nombre de groupes puis ensuite de réaliser une classification à l'aide de la méthode de partitionnement.

Méthode hiérarchique

Une méthode hiérarchique groupe les objets dans un groupe de classes qui indique la hiérarchie entre celles-ci. La méthode peut soit agréger, soit diviser les observations sur la base de la formation par décomposition hiérarchique ou agrégation.

La Figure 1 présente les étapes générales de l'analyse de classification. Une discussion détaillée de chaque étape est présentée ci-dessous:

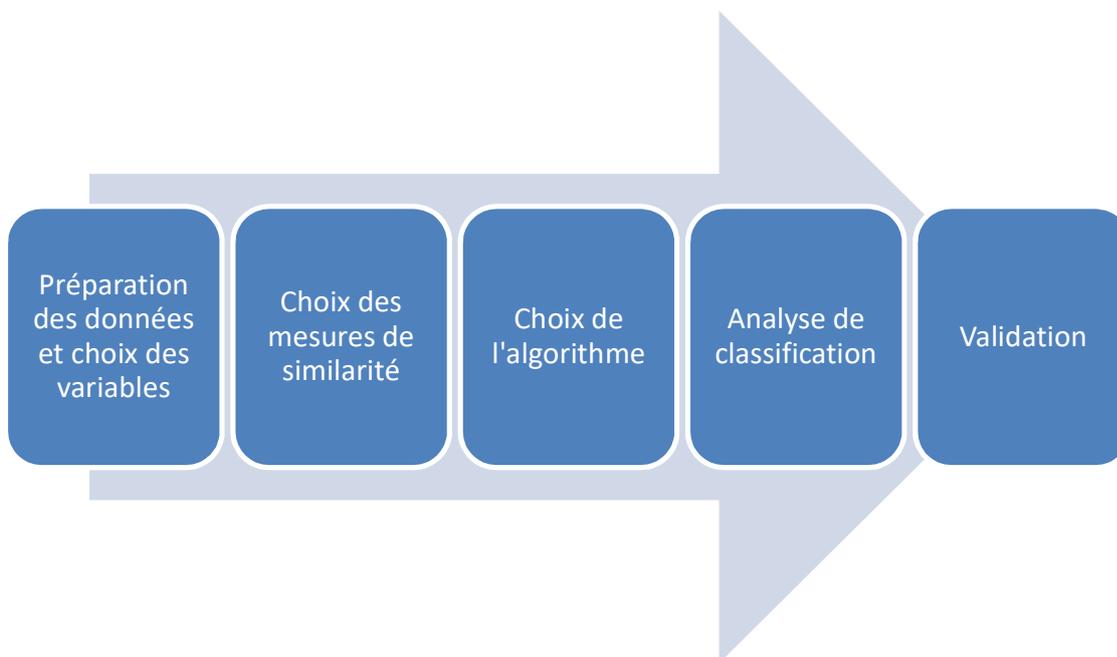


Figure 28. Principales étapes de l'analyse de classification

Étape 1: Préparation des données et choix des variables

La première étape de l'analyse de classification est la préparation des données et le choix des variables. Différents types de données (intervalle, ordinaire ou catégorique) peuvent être utilisées



dans les analyses de classification. Il est aussi possible de combiner différents types de variables; toutefois, cette combinaison complexifie le processus de classification. Dans le cas de grandes bases de données, un échantillon aléatoire peut être utilisé pour la classification. Si les valeurs des variables choisies dans le vecteur de classification sont sous des échelles différentes, les données doivent être normalisées afin de donner un poids équivalent à chacune. Sinon, les valeurs ayant une plus grande amplitude domineront dans le calcul de la distance entre vecteurs. Cependant, il est possible que certaines valeurs soient intrinsèquement plus importantes que d'autres pour une application spécifique. Dans ce cas, il est possible de leur attribuer un poids supplémentaire. Ces choix relèvent du modélisateur.

Étape 2: Choix des mesures de similarité (ou distance entre vecteurs)

Cette étape mesure la similarité (ou la distance) entre deux objets (ou vecteurs les caractérisant) à l'aide de mesure de similarité. Il y a plusieurs mesures de similarité qui peuvent être utilisées pour évaluer la similarité entre objets. Il faut être prudent dans la sélection des mesures utilisées pour mesurer la similarité pour plusieurs raisons qui sont discutées ci-dessous :

- **Sensibilité envers les données aberrantes:** Certaines mesures sont sensibles aux données aberrantes (valeurs extrêmes); conséquemment, celles-ci doivent être retirées avant de procéder à la classification.
- **Résultats dépendant de la mesure choisie:** Différentes mesures peuvent produire différents résultats; ainsi, différentes mesures devraient être utilisées pour générer différents résultats à comparer entre eux afin de faire ressortir correctement les patrons typiques.
- **Variables avec unités différentes:** Les variables avec les plus grandes amplitudes vont dominer le calcul des distances ce qui risque de mener à différentes classes (qu'une approche dans laquelle les valeurs sont normalisées). Ainsi, les données doivent être normalisées avant la réalisation de la classification.

Les distances euclidiennes et euclidiennes quadratiques sont les mesures de distance les plus communes.

1 Distance euclidienne

La distance euclidienne mesure la distance à vol d'oiseau à l'aide de l'Equation 1.

$$d(x_i, x_j)_{Euclidienne} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (1)$$

À titre d'exemple, le Tableau 8 présente deux objets et 5 variables binaires, où une valeur de 1 ou 0 indique la présence ou l'absence d'une propriété.

Tableau 8 – Variables et objets

Objets	Variables, k				
	1	2	3	4	5
i	1	0	0	1	1
j	1	1	0	1	0

Ainsi,



$$(x_{ik} - x_{jk})^2 = \begin{cases} 0, \text{ si } x_{ik} = x_{jk} = 1 \text{ (deux 1)} \\ \text{ou } x_{ik} = x_{jk} = 0 \text{ (deux 0)}, \\ 1, \text{ si } x_{ik} \neq x_{jk} \quad (1 \text{ et } 0) \end{cases}$$

Et la distance euclidienne $d(x_i, x_j)_{\text{Euclidienne}}$ indique le nombre de cas en désaccord entre les deux objets. Dans cet exemple, le nombre de désaccords est de 2.

2 Distance euclidienne quadratique

Il s'agit de la même équation que pour la distance euclidienne mais excluant la racine carrée (Equation 2).

$$d'(x_i, x_j)_{\text{Euclidienne}} = \sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2 \quad (2)$$

Méthode d'alignement séquentiel – mesures de similarité par paires

Les discussions portant sur les distances euclidiennes montrent que cette fonction mesure la similarité de variables localisées à la même position (au sein du vecteur d'attributs) et somme les différences calculées pour l'ensemble des variables pour obtenir la similarité entre les objets. Toutefois, les patrons d'activités représentent des séquences ordonnées d'activités qui ne peuvent adéquatement être capturées par les fonctions de distance euclidienne. Parmi les patrons d'activités, on pourrait observer un simple décalage qui pourrait néanmoins se traduire par une faible similarité (bien qu'il n'y ait qu'un simple décalage dans les horaires d'activités. Joh et al. (2001) ont montré que la méthode d'alignement séquentiel est plus sensible pour les analyses de classification de patrons d'activités que la méthode avec distance euclidienne. Cette méthode est largement utilisée en biologie moléculaire depuis 1970 mais son usage est relativement récent dans le champ de l'analyse des patrons d'activités (Wilson, 1998). Wilson (1999) a développé un outil, nommé ClustalG, permettant d'appliquer cette méthode. La méthode d'alignement séquentiel identifie la similarité ou la distance entre deux séquences de caractères (alignement séquentiel pairé) qui représentent la séquence des événements d'intérêt. La procédure détaillée d'alignement est disponible dans d'autres articles (Saneinejad & Roorda, 2009; Wilson, 1999). Dans ClustalG, la procédure d'alignement séquentiel suit les étapes suivantes:

1. Premièrement, une matrice de pointage de similarité est créée à partir d'un alignement pairé complet.
2. Ensuite, la méthode conduit de multiples alignements en utilisant le patron en branches d'un arbre sur la base des pointages de similarité ainsi que certains ajustements. L'arbre est calculé en utilisant un algorithme de voisinage (Saitou & Nei, 1987).

Le logiciel ClustalG propose une fonction utile qui permet d'utiliser un arbre calculé par un autre algorithme de classification. Cette fonctionnalité permettra d'exporter des pointages de similarité vers d'autres outils et de calculer des arbres en recourant à d'autres algorithmes puis de revenir vers ClustalG pour réaliser un alignement séquentiel.

Étape 3: Choix de l'algorithme

Méthode de partitionnement: algorithme de k-moyenne

L'algorithme de k-moyenne est très utilisé au sein des approches par partitionnement. L'algorithme de k-moyenne sépare les objets afin que l'indicateur de similarité intra-groupe soit élevé et que celui inter-groupe soit faible. L'algorithme k-moyenne procède comme suit (voir Figure 29):

1. Il choisit aléatoirement k objets de la base de données, D de n objets comme centre des groupes initiaux.
2. Pour chaque objet restant, il cherche le centre de groupe le plus près en utilisant la distance entre l'objet et le centre du groupe et associe l'objet au groupe le plus près.
3. Il calcule ensuite le nouveau centre moyen pour tous les groupes.
4. Le processus est répété jusqu'à ce que le critère choisi converge. Typiquement, le critère choisi est l'erreur quadratique, définie par :

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (3)$$

où,

$\|x_i^{(j)} - c_j\|$ = distance mesurée entre le point mesuré $x_i^{(j)}$ et le centre du groupe c_j

n = nombre d'observations

k = nombre de groupes

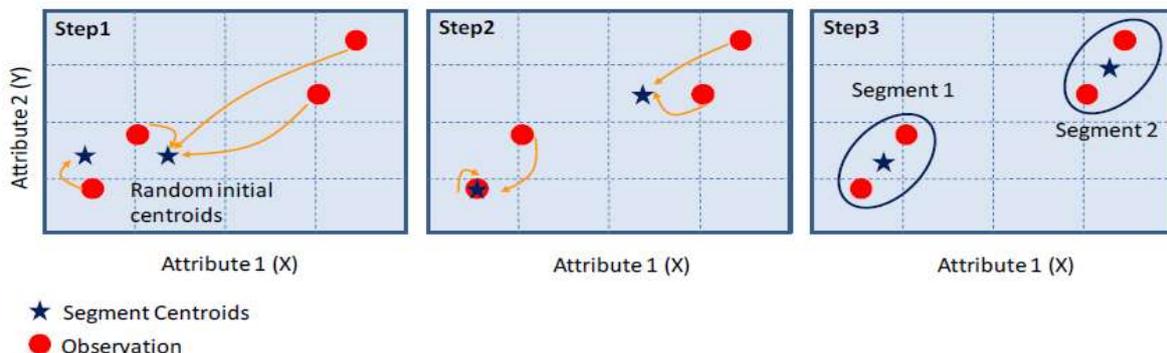


Figure 29. Classification d'objets à l'aide de l'algorithme de k-moyenne (Ishaq, 2011)

Méthode hiérarchique – différents algorithmes d'association

Des deux méthodes hiérarchiques disponibles, c'est la méthode d'agrégation agglomérative hiérarchique (HAC) qui est la plus utilisée. Cette méthode procède comme suit:

1. Premièrement, la procédure produit une matrice de similarité (distance) qui indique la distance entre chaque paire d'objets.
2. Ensuite, chaque objet est associé à son propre groupe (il y a donc autant de groupes que d'objets au début).
3. À chaque étape, les deux groupes les plus près sont agrégés en un nouveau groupe. Après l'agrégation, la procédure calcule les distances entre le nouveau groupe et tous les autres groupes. Ce processus se répète jusqu'à ce que tous les objets appartiennent au même groupe (Figure 30 (a-d)).
4. À la fin, l'arbre d'agrégation hiérarchique peut être coupé à différentes hauteurs (distances) ou en un nombre différent de groupes pour produire des résultats différents. La hauteur à laquelle

l'arbre hiérarchique est coupé est appelée la distance seuil puisqu'elle représente la plus importante distance au sein d'un groupe.

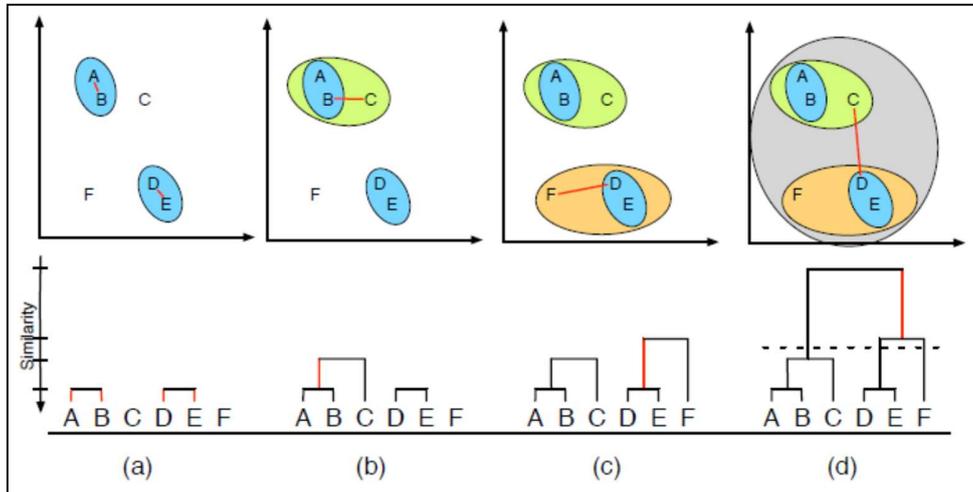


Figure 30. Méthode d'agrégation agglomérative hiérarchique (HAC) (Mueller, 2005)

Il y a différents algorithmes d'association utilisés pour calculer la distance inter-groupe à chaque itération (Figure 31):

- Association simple (méthode du plus proche voisin) – les groupes sont agrégés sur la base de la plus courte distance entre objets.
- Association complète (méthode du voisin le plus loin) – la distance entre deux groupes correspond à la distance entre les deux objets qui sont les plus éloignés.
- Association moyenne – la distance entre deux groupes correspond à la distance moyenne entre toutes les paires d'objets appartenant à deux groupes. Deux méthodes souvent utilisées sont : UPGMA (Unweighted pair group method with arithmetic mean – Méthode des groupes de paires non pondérées avec moyenne arithmétique) et UPGMC (Méthode des groupes de paires non pondérées avec moyenne).

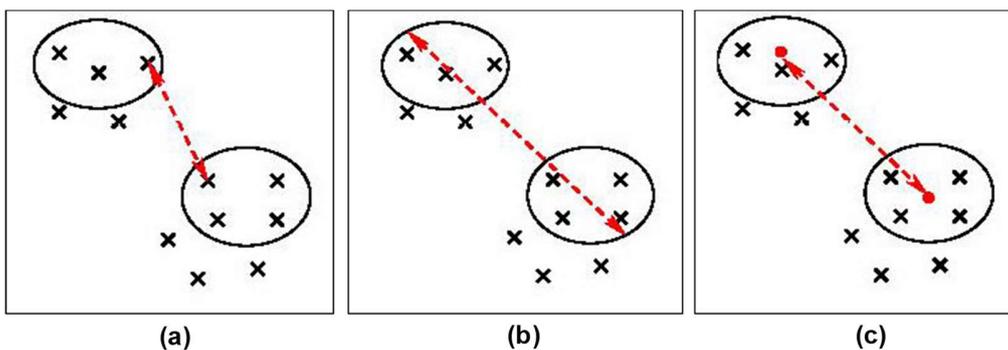


Figure 31. Méthode d'agrégation agglomérative hiérarchique a. Association simple, b. Association complète et c. Association moyenne (Mulvey & Gingold, 2008)

Dans cette recherche, la méthode UPGMA sera utilisée pour segmenter la population. L'algorithme d'agrégation par voisinage sera aussi utilisé. Une discussion détaillée de ces méthodes est proposée ci-dessous:



UPGMA

Cette méthode est considérée être relativement robuste. Dans cette méthode, la distance d_u entre deux groupes A et B est mesurée par la moyenne des distances entre chaque paire d'objets appartenant aux deux groupes. Ceci peut être représenté par l'équation:

$$d_u(A, B) = \frac{1}{|A||B|} \sum_{x \in A} \sum_{y \in B} d(x, y) \quad (4)$$

où,

d_u = distance entre les groupes A et B

A = nombre d'objets dans le groupe A

B = nombre d'objets dans le groupe B

$d(x, y)$ = distance entre les objets x et y

Algorithme d'association par voisinage

Cette méthode est aussi une méthode de groupement par agrégation; elle a été développée par Saitou and Nei (1987). Comme UPGMA, la méthode construit un arbre à l'aide de données de distance entre les paires d'objets. De plus, elle fournit la longueur des branches de l'arbre final. Cette méthode tente d'identifier des paires voisines qui minimisent la longueur totale des branches à chaque étape, en commençant par un arbre en étoile (Figure 5). Plus de détails sur cet algorithme peuvent être trouvés dans (Saitou & Nei, 1987).

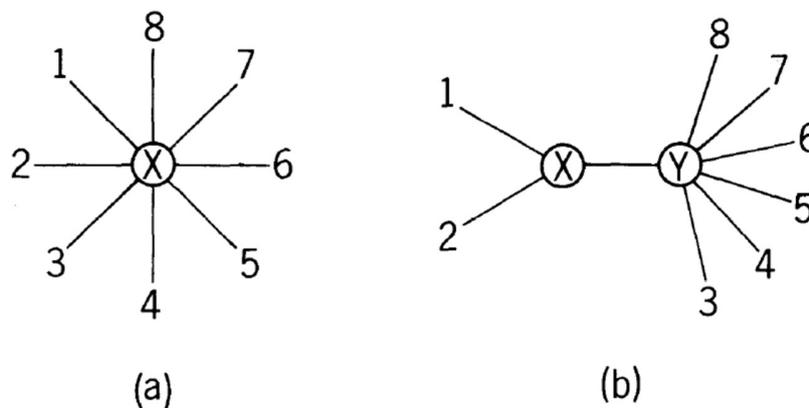


Figure 32. Groupement à l'aide d'une méthode de groupement par voisinage a. arbre en étoile sans structure hiérarchique et b. arbre dans lequel les voisins 1 et 2 sont agrégés (Saitou & Nei, 1987)

Étape 4: Analyse de groupement

Dans cette recherche, l'analyse de groupement sera conduite à l'aide des logiciels ClustalG et Matlab.

Étape 5: Validation

L'étape finale de l'analyse de groupement est la validation. Les résultats obtenus de différentes méthodes sont évalués en utilisant des tests de validation externes et internes afin de choisir les meilleurs résultats (et par conséquent la meilleure méthode). Les tests de validation externes comparent les résultats du groupement avec l'information qui n'est pas utilisée dans les analyses



de groupement alors que les tests de validation internes comparent les résultats du groupement avec les données originales. Quelques mesures internes et externes appropriées pour ce type d'analyses de groupement sont décrites ci-dessous:

- **Mesures externes**

- Statistique Rand corrigée
 - Index entre 0 et 1
 - 1 indique une correspondance parfaite
- Index de variation de l'information (VI)
 - Index entre 0 et 1
 - 0 indique une correspondance parfaite et 1 indique une dissimilarité totale

- **Mesures internes**

- Mesure de silhouette
 - Cette mesure varie entre -1 et 1
 - Les valeurs près de 1 représentent des groupes serrés et compacts

3.3.3 Données et méthode de recherche

Montréal est bien connue pour ses grandes enquêtes Origine-Destination (OD) conduites environ à chaque 5 ans depuis 1970. Ces enquêtes recueillent des données détaillées sur les déplacements d'environ 5% de la population de la Grande Région de Montréal (GRM) âgée de 5 ans et plus. Les données de déplacements de tous les membres du ménage sont recueillies par entrevue téléphonique et portent sur un jour de semaine d'automne (septembre à décembre). Des informations détaillées sur les enquêtes OD peuvent être trouvées sur le site internet de l'AMT (Agence Métropolitaine de Transport, 2015).

Cette recherche applique l'approche de groupement pour segmenter la population de l'Île de Montréal, celle-ci couvrant un territoire de 500 km² et contenant une population de 1.8 millions d'habitants (Statistics Canada, 2011). Un cadre méthodologique détaillé est présenté à la Figure 6.

Cette recherche s'appuie sur les données des enquêtes montréalaises de 2003 et 2008 O-D. Durant la préparation des données, des chaînes ouvertes (i.e. chaînes de déplacement ne commençant ou ne se terminant pas au domicile) ont été identifiées pour certains individus dans chacune des enquêtes. Ainsi, les ménages avec des individus qui ont fait des chaînes ouvertes ont été exclus des analyses. La segmentation de la population a été conduite sur la base de la similarité des patrons d'activités, ces patrons étant représentés par trois attributs à savoir : la distribution fréquentielle du nombre quotidien d'activités, la distribution des heures de départ et la distribution des durées d'activités. L'enquête OD permet d'obtenir des bases de données de déplacements. Ainsi, ces données ont été converties en bases de données d'activités. Le type d'activité a été défini à partir du motif de déplacement. Dans les enquêtes, 13 différents motifs de déplacements sont disponibles pour les déplacements, ceux-ci ont été agrégés en six grandes classes à savoir travail, étude, magasinage, loisir, autre et retour à la maison. L'heure de début de l'activité a été calculée à partir de l'heure de départ du déplacement menant à l'activité et de la durée du déplacement. Cependant, le temps de déplacement n'est pas une information recueillie lors de l'enquête. Ainsi, les temps de déplacement pour les déplacements en automobile sont obtenus du Ministère des transports qui les estiment à partir d'un modèle d'affectation. Les temps de déplacements pour les déplacements faits avec un autre mode sont estimés pour les fins de cette étude; la méthodologie d'estimation sera disponible dans la thèse. La durée totale des activités (incluant le temps de déplacement et la durée d'activité) a été calculé en utilisant les heures successives de début des déplacements.



Premièrement, l'analyse de classification est utilisée pour identifier des patrons similaires d'activités avec les données de l'enquête OD 2003, en recourant à différentes approches (K-moyenne, UPGMA, et couplage par voisinage) à l'aide des logiciels ClustalG et MATLAB. Ensuite, les résultats du regroupement obtenus de chaque méthode sont validés à l'aide de différentes mesures de validation, puis, sur la base des résultats de validation, la meilleure méthode est choisie. Ensuite, les segments de population ayant des patrons similaires d'activités sont analysés en termes de propriétés socio-démographiques. Puis, pour examiner les tendances quant à la similarité des patrons d'activités, une analyse de classification est conduite en utilisant les patrons quotidiens de l'échantillon de 2008 en utilisant la meilleure méthode (identifiée à l'étape précédente). Finalement, les changements dans les patrons d'activité similaires et les segments de population avec des patrons similaires d'activités sont analysés en comparant les résultats de 2003 et 2008.

3.3.4 Contributions potentielles

Cette recherche contribuera aux éléments suivants :

- Enrichissement du cadre de modélisation basée activités par l'utilisation d'une approche systématique de classification de la population.
- Produire des segments de population ayant des patrons similaires d'activités, ce qui facilite le développement des distributions décrivant les systèmes d'activités à savoir la fréquence d'activités, la distribution des heures de départ et la distribution des durées d'activités, ces distributions étant utilisées en entrées des modèles d'activités pour prévoir la demande de transport.
- Identifier les segments pertinents pour différentes activités et ce afin de générer des programmes quotidiens d'activités.
- Identifier quels segments de population ont des patrons d'activités similaires à travers le temps.



3.4 Indicateurs de vulnérabilité en transport : une mesure de la diversité et de la qualité des alternatives de déplacement

- Étudiant : Alexis Frappier (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : fin décembre 2015
- Financement : Chaire Mobilité
- Référence : Frappier, A. (2015). Méthode d'évaluation de la diversité et de la qualité des alternatives de déplacement de transport en commun (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal). Tiré de <https://publications.polymtl.ca/1983/>

****** LE TEXTE QUI SUIT EST UN EXTRAIT DU DOCUMENT NON FINAL DE MÉMOIRE D'ALEXIS FRAPPIER- des éléments pourront être différents dans le mémoire final ******

3.4.1 Introduction

Se diriger vers une mobilité plus durable apparaît aujourd'hui comme une nécessité, vers laquelle tous les efforts doivent être mis. Parmi les différentes façons d'y parvenir, l'augmentation de la part modale du transport en commun est incontournable. Ce dernier doit par conséquent toujours améliorer son attractivité pour le rendre compétitif. Se pose alors la question de l'évaluation de l'attractivité du transport en commun par rapport à d'autres modes. Pour cela, il faut revenir au processus de décision de l'utilisateur face à ses choix lorsqu'il s'agit de se déplacer. Évidemment, une multitude de paramètres intervient alors, plus ou moins rationnels et identifiables. En effet, les différents éléments qui rentrent en compte sont plus complexes que ceux classiquement évalués, comme le temps ou le coût du trajet. En outre, notre monde actuel connaît une révolution numérique, passant notamment par la démocratisation des cellulaires intelligents. Il est maintenant courant de regarder ses différentes options pour effectuer son trajet, grâce à des calculateurs de trajet. L'utilisateur peut alors s'informer sur ses différentes alternatives de transport en commun, les comparer, et choisir laquelle il empruntera.

La problématique qui découle de ce constat est la suivante : comment peut-on évaluer de façon pertinente l'ensemble des alternatives de transport en commun disponibles pour un déplacement spécifique ? Le but est donc de développer une méthode qui permet de déterminer la valeur apportée par la qualité et la diversité d'un éventail d'alternatives. Une alternative de transport en commun est ici considérée comme une séquence de ligne et de correspondance différente. Toutefois, une limite de deux fois le temps de la meilleure alternative est fixée pour qu'une alternative soit prise en compte. Il est alors supposé que la valeur d'un ensemble d'alternatives augmente selon des attributs autres que leur temps individuel, mais aussi avec le nombre d'alternatives disponibles. D'abord, il est nécessaire de fournir une série d'indicateurs quantitatifs pour chaque alternative disponible. Ensuite, un classement de ces alternatives doit être réalisé, en vue de calculer un indicateur de qualité global pour l'ensemble. Enfin, un indicateur reflétant la diversité de ces alternatives doit être formulé. Cela permet au final de pouvoir situer chaque paire Origine-Destination (OD) sur un cadran de qualité et de diversité, suivant les alternatives de transport en commun disponibles pour réaliser le trajet désiré.

Le présent document débute par une revue de littérature sur la modélisation classique du choix de route, les mesures de la qualité du transport en commun, ainsi que sur la diversité des routes. Il



continue par une analyse de deux sondages sur le point de vue des passagers vis-à-vis du transport en commun. La méthodologie menant au calcul des indicateurs de qualité et de diversité est ensuite présentée. Une étude de cas appliquant la méthode sur 10 paires OD est finalement exposée, avant de conclure sur les apports et les perspectives de la recherche.

3.4.2 Revue de littérature

La modélisation du choix de route

La première étape de la modélisation du choix de route consiste à former un ensemble de trajets disponibles pour réaliser le trajet. Cela n'est pas une tâche simple, et différentes façons permettent d'aborder ce problème (Ortúzar & Willumsen, 2011). Les auteurs recensent différentes manières d'y parvenir. L'une d'entre elles est de ne sélectionner que les trajets effectivement empruntés par les utilisateurs. Cela nécessite alors d'avoir les données de trajet empruntés, qu'ils soient observés (données GPS par exemple) ou déclarés (enquête auprès des personnes). Une autre est de définir certaines contraintes permettant de ne prendre que les alternatives répondant à certains critères (un temps d'accès maximum par exemple). Il est cependant, dans tous les cas, nécessaire d'utiliser une méthode de calcul automatique des routes disponibles pour assurer le déplacement.

Les calculateurs de chemin en transport en commun suivent différents types de construction. Leurs méthodes peuvent être classées en deux groupes : chemin le court et multi chemin comme l'explique le NCHRP Report 617 (Cambridge Systematics, Inc. & al., 2012). Les méthodes de chemin le plus court trouvent le chemin qui minimise l'impédance entre l'origine et la destination. Cette impédance est généralement une combinaison linéaire des différents temps et du coût de trajet, pondérée adéquatement. Les méthodes dites multi-chemins calculent simultanément plusieurs chemins, qui ne minimisent pas tous l'impédance mais répondent à certaines contraintes définies préalablement. Prato mène dans une étude une revue complète des techniques de génération des chemins (Prato, 2009). Un problème majeur qui survient lorsque les différents chemins sont générés est leur inter corrélation. En effet, ces derniers empruntent bien souvent les mêmes parties de lignes. Pour tenir en compte cet aspect, Ben-Akiva et Bierlaire (1999) ont inséré un facteur dans leur modèle logit. Appelé Path Size (PS), il mesure en quelque sorte la complétude de l'alternative, c'est à dire à quel point les lignes empruntées sont utilisées par d'autres alternatives. Plus la similarité avec d'autres chemin est grande, plus le PS est petit. Le nombre de chemins ainsi trouvé peut-être extrêmement grand, suivant les contraintes et les paramètres fixés. Bovy (2009) rappelle qu'il est parfois nécessaire d'enlever de l'ensemble des choix possibles certaines routes pour qu'elles soient considérées comme de vraies alternatives.

Les mesures de la qualité du transport en commun

De nombreuses études traitent de la perception du temps lors d'un trajet en transport en commun. Ce principe s'appuie sur le fait que les passagers perçoivent différemment la durée de leur trajet, suivant leur environnement et l'activité pratiquée. Ainsi, une situation jugée pénible a comme effet de donner le sentiment qu'elle dure plus longtemps que ce qu'elle dure réellement.

Bien souvent, les études dans le domaine découpent le trajet en différentes phases (accès à l'origine, attente, en véhicule, correspondance et accès à la destination). Elles expriment ensuite leurs résultats comme des temps perçus pendant ces différentes phases, calibrés en fonction du temps en véhicule. Le TCQSM rassemble par exemple les données d'un grand nombre d'études menées aux États-Unis. Calibré en fonction de la perception du temps en véhicule fixé à 1, le temps de marche y est perçu à 2.2 en moyenne (variant de 0.8 à 4.4), le temps d'attente initial est perçu



à 2.1 en moyenne (variant de 0.8 à 5.1) et le temps de correspondance est perçu à 2.5 en moyenne (variant de 1.1 à 4.4) (Kittelsohn & Associates Inc; al., 2013). En outre, Anderson (2013) répertorie dans sa thèse sept études concernant les estimations de temps perçu de voyageurs en transport en commun, dans des contextes variés. Elle modifie leurs résultats afin de tous les présenter sous la même forme, c'est-à-dire calibrés par rapport au temps en véhicule en bus. Des études montrent également que le temps de trajet n'est pas seulement un temps perdu. Cette thèse est défendue par Lyons & Urry (2005) dans leur étude, où ces derniers expliquent de quelle manière le temps de trajet peut être perçu comme utile.

Les correspondances ont un effet majeur sur la perception de pénibilité d'un trajet en transport en commun. En effet, les individus ont tendance à surestimer leur temps de déplacement lorsque celui-ci inclut une ou plusieurs correspondances (Kaufmann & Messer, 2012). Le TCQSM explique que les correspondances sont aussi mal perçues par les voyageurs en raison de la possibilité de manquer le transfert vers la ligne suivante (Kittelsohn & Associates Inc; al., 2013). Le manuel rapporte que chaque transfert engendre une pénalité se situant entre 12 et 17 minutes. Certains auteurs établissent plus précisément la pénalité en classifiant les correspondances suivant différents aspects. Bovy et al. (2003) estiment qu'une correspondance pour laquelle la fréquence de la ligne est élevée minimise les conséquences d'un transfert. Ils ont différencié ainsi les correspondances à fréquence élevée avec une pénalité de 5.1, à celles à fréquence faible avec une pénalité de 11.4.

La question de la fiabilité du service de transport en commun n'est pas simple à aborder. Le TCQSM fournit un guide permettant de catégoriser le niveau de fiabilité suivant les données de retards (Kittelsohn & Associates Inc; al., 2013). D'autres études étudient plus la fiabilité du point de vue de la perception du passager. Deux méthodes sont étudiées par Wood et al. (2015), nécessitant des données de cartes à puce et de géolocalisation des véhicules en temps réel. De plus, un nombre croissant de réseaux offrent de l'information en temps réel à leurs voyageurs, permettant ainsi de connaître la position de leur véhicule et le véritable temps d'attente. Cela peut réduire le sentiment d'inconfort de l'utilisateur en cas de retard (Gooze et al., 2013).

La perception du confort en véhicule a souvent été abordée sous l'angle de l'achalandage à bord. De nombreuses études fournissent alors un coefficient multiplicateur de temps en fonction du niveau d'achalandage. Whelan et Crockett ont estimé un coefficient multiplicateur pour le train (Whelan & Crockett, 2009). L'achalandage n'y est pas mesuré en termes de facteur de charge mais en densité de personnes en position debout (nombre de passagers par mètre carré). Son étude applique un coefficient multiplicateur de 1 pour les personnes assises s'il n'y a aucun passager debout, jusqu'à 1.6 si la densité est de 6 passagers/m². Si les personnes sont debout, le coefficient varie de 1.5 pour une densité nulle, jusqu'à 2 pour une densité de 6 passagers/m². Enfin, van Ort et al. (2015) proposent un coefficient particulier pour évaluer le niveau d'achalandage. Celui-ci considère à la fois l'inconfort généré par l'indisponibilité des places assises en véhicule, comme le facteur de charge, mais aussi l'impossibilité de monter à bord en cas de surcharge du véhicule. Le confort d'un trajet en transport en commun ne se mesure pas seulement à bord du véhicule. Il concerne également les aménagements présents aux arrêts où le voyageur attend l'arrivée de sa ligne. Litman (2008) répertorie ainsi les bénéfices au voyageur des améliorations apportées dans les arrêts.

Un autre facteur est étudié dans une étude de Raveau & al. (2011): la distorsion géométrique. Le caractère direct d'un trajet est ainsi mesuré, reflétant la déviation qu'un voyageur doit subir pour se rendre de son origine à sa destination. La qualité du service de transport en commun peut en réalité



revêtir des aspects innombrables. En effet, chaque individu a des attentes et des perceptions totalement différentes envers son trajet. Kroes & al. (2014) proposent ainsi d'autres paramètres à considérer dans la perception du confort en véhicule, en plus des impacts directs de l'achalandage : la stabilité du véhicule, le confort des sièges, la température, les odeurs ou encore le bruit. Raveau et al. (2014) introduisent dans leur étude le nombre d'arrêts sur le trajet ou encore la distance cartographique.

La diversité des routes

Il existe plusieurs raisons de considérer l'ensemble des alternatives offertes lorsqu'il s'agit d'évaluer le service de transport en commun entre une origine et une destination.

C'est notamment l'hypothèse de départ de l'équipe de Nassir et al. (2014) pour mesurer l'accessibilité du réseau cyclable de San Francisco. Les chercheurs ont entrepris de redéfinir les calculs d'accessibilité, en se basant sur l'hypothèse qu'un réseau offrant une multitude de routes possédant une grande utilité apporte plus de valeurs à l'utilisateur. Ils ont ainsi conçu leur modèle pour qu'il reflète à la fois la diversité et la qualité des diverses routes possibles, pas seulement la meilleure. Ils justifient leur choix par le fait que la performance des routes peut varier dans le temps, et certaines peuvent être même inaccessibles à certains moments. Ensuite, la modélisation classique prend comme hypothèse de départ que les voyageurs ont une connaissance parfaite du réseau. Ils sont sensés agir en « Homo economicus » et toujours sélectionner la route qui maximisera leur utilité personnelle (Ortúzar & Willumsen, 2011). Nassir et al. (2014) jugent que certaines personnes n'ont pas cette connaissance parfaite de leurs alternatives, ou en tout cas ne perçoivent pas la différence d'utilité entre celles-ci. En considérant ainsi plusieurs alternatives dans leur calcul entre deux points, les chercheurs ont ainsi réussi à grandement améliorer la modélisation de l'accessibilité sur le réseau cyclable de San Francisco. La prise en compte de plusieurs routes pour évaluer le service de transport entre deux points réside également dans le fait que les choix personnels sont très variables. En effet, l'individu possède des préférences envers son trajet qui dépendent en partie de ses caractéristiques sociodémographiques. C'est ce qu'ont montré Nazem et al. (2011) dans leur étude, où l'utilité de 6 catégories de personnes (3 cohortes d'âge et genres) a été estimée pour différentes variables. Les résultats montrent alors que l'utilité varie sensiblement d'un groupe à l'autre. Cela appuie donc le fait de considérer toutes les alternatives disponibles entre une origine et une destination, afin de disposer d'un éventail assez large pour satisfaire les différentes préférences des usagers.

3.4.3 Point de vue passagers

Les attentes du panel de la STM

Le premier sondage analysé concerne un panel d'usagers de la Société de Transport de Montréal (STM). Ce dernier ne reflète pas parfaitement la population des utilisateurs, puisque certaines catégories sociodémographiques sont surreprésentées, comme les personnes âgées et les femmes. De plus, la proportion d'utilisateurs réguliers est plus importante que dans la réalité. Le sondage a été mené en décembre 2014 sur une plateforme Web. Les participants devaient d'abord choisir le mode qu'ils utilisaient d'habitude (métro, bus ou les deux), ainsi que l'utilisation qu'ils en faisaient (régulier ou occasionnel). Ensuite, ils avaient à leur disposition une liste d'attentes vis-à-vis de leur mode, et ils devaient choisir les 5 plus importantes selon eux. Les résultats sont présentés ci-dessous :



Tableau 10. Attentes du panel STM vis-à-vis du métro

<u>Attentes vis-à-vis du métro</u>	Réguliers (N=1288)		Occasionnels (N=444)	
Fiabilité du service	1040	81%	332	75%
Fréquence	941	73%	285	64%
Informations sur les interruptions de service	562	44%	222	50%
Sécurité	555	43%	166	37%
Niveau d'entassement	547	42%	134	30%
Synchronisation des correspondances	395	31%	128	29%
Propreté	335	26%	126	28%
Heures de fermeture	305	24%	119	27%
Température	290	23%	117	26%
Disponibilité des places assises	281	22%	98	22%
Qualité de l'air	277	22%	89	20%
Fonctionnement des escalators	270	21%	89	20%
Accès à un point d'appui	217	17%	86	19%
Courtoisie à la loge	152	12%	84	19%
Facilité d'orientation	106	8%	79	18%
Douceur du roulement	84	7%	27	6%
Bruit	61	5%	22	5%

Tableau 11. Attentes du panel STM vis-à-vis du bus

<u>Attentes vis-à-vis du bus</u>	Réguliers (N=1015)		Occasionnels (N=312)	
Fréquence	863	85%	246	79%
Ponctualité	857	84%	243	78%
Niveau d'entassement	453	45%	137	44%
Démarrage, conduite et arrêt	429	42%	119	38%
Disponibilité des places assises	331	33%	107	34%
Informations des perturbations réseau	266	26%	95	30%
Couverture du territoire	260	26%	90	29%
Sécurité	256	25%	85	27%
Courtoisie du chauffeur	249	25%	79	25%
Respect de la sécurité routière	224	22%	72	23%
Accès à un point d'appui	207	20%	65	21%
Informations à l'arrêt de bus	171	17%	58	19%
Propreté	167	16%	56	18%
Température	156	15%	41	13%
Qualité de l'air	92	9%	36	12%
Qualité des informations du chauffeur	58	6%	21	7%



Comme on peut le constater, presque tous les utilisateurs du métro (réguliers ou occasionnels) ont cité la fiabilité et la fréquence comme des attentes importantes dans leur utilisation de ce mode. Les informations sur les interruptions de service, la sécurité et le niveau d'entassement constituent aussi des facteurs importants. Pour les utilisateurs du bus, ce sont la fréquence et la ponctualité qui sont largement mentionnées comme attentes, suivies du niveau d'entassement, de la conduite du chauffeur et de la disponibilité des places assises.

Les perceptions des Longueillois

Un autre sondage concerne le Réseau de Transport de Longueuil (RTL). Une enquête web a été menée auprès de citoyens de l'agglomération de Longueuil ayant déjà répondu à une enquête téléphonique sur le transport. S'ils utilisaient hypothétiquement le transport en commun, ils devaient choisir entre deux options : 1) Marcher plus pour arriver à l'arrêt de bus mais avec une plus grande fréquence ou inversement 2) Prendre un plus long trajet sans correspondance ou un plus court avec une correspondance. Les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 12. perceptions des Longueillois

	Plus grande fréquence	Moins de marche	Je ne sais pas	Pas de transfert	Trajet plus court	Je ne sais pas
Nombre de réponses (N=403)	257 (63.8%)	91 (22.6%)	55 (13.6%)	236 (58.6%)	104 (25.8%)	63 (15.6%)

La fréquence apparaît clairement comme étant un aspect plus important pour les personnes sondées; elles préfèrent ainsi marcher qu'attendre leur bus. De plus, les correspondances sont évitées par les répondants; même avec un temps de trajet plus court, devoir changer de ligne semble être perçu très négativement.

3.4.4 Méthodologie

Aperçu général

La méthode menant au calcul des deux indicateurs de diversité et de qualité est détaillée sur la figure ci-dessous. Elle commence par la définition d'une demande de trajet en transport en commun, définie par une origine, une destination ainsi qu'un créneau horaire. A partir de celle-ci, un calculateur de chemin permet de générer un ensemble de choix de trajets disponibles pour répondre à la demande. Ensuite, des indicateurs sont produits pour chacune de ces chemins trouvés, concernant divers catégories (temps, coût, correspondance, directitude, performance, indépendance). Une étape de filtrage vient alors s'ajouter afin de ne sélectionner seulement les alternatives les plus pertinentes. Différentes pondérations sont ensuite appliquées à ces indicateurs afin d'obtenir un score de qualité pour chaque alternative, suivant lequel elles peuvent être classées. Pour finir, les indicateurs de qualité et de diversité globaux sont calculés, en tenant compte de ce classement, mais aussi de la qualité et de l'indépendance précédemment définies pour chacune.

<u>Étape</u>	<u>Illustration</u>	<u>Description</u>
Demande de trajet en transport en commun		<i>Origine Destination Créneau horaire</i>
Génération d'un ensemble de choix		<i>Calculateur de trajet en transport en commun</i>
Évaluation individuelle des alternatives		<i>Production d'indicateurs pour chaque alternative</i>
Filtrage		<i>Critères d'indépendance et de pertinence</i>
Classement par qualité		<i>Évalué grâce à une somme pondérée d'indicateurs</i>
Calcul de l'indicateur global de qualité		<i>Qualité moyenne des N premières alternatives Pondéré par l'indépendance et le classement</i>
Calcul de l'indicateur global de diversité		<i>Nombre d'alternatives au-dessus d'un seuil fixé Pondéré par l'indépendance et la qualité</i>

Figure 34. Méthode menant au calcul des deux indicateurs de diversité et de qualité

Evaluation individuelle

Les différents indicateurs pour évaluer les chemins trouvés par le calculateur sont les suivants :

- Temps d'accès T_{acc}
- Temps d'attente T_{att}



- Temps en véhicule $T_{véh}$
- Temps de marche en correspondance T_{marc}
- Temps d'attente en correspondance T_{attc}
- Temps de sortie T_{sor}
- Coût monétaire du trajet C
- Nombre de correspondances N_c
- Coût de correspondances C_t
- Coût angulaire C_{ang}
- Hauteur maximum H_{max}
- Capacité horaire C_{aph}
- Distance entre les arrêts $Stop_{km}$
- Niveau d'indépendance in

Indicateurs de temps

Les temps d'accès et de sortie sont des temps à la marche vers et depuis un arrêt de transport en commun. Le temps d'accès n'est ici pas seulement considéré comme la moitié de l'intervalle. En effet, pour des intervalles assez grands, les passagers n'arrivent plus de façon aléatoire mais planifient leur arrivée suivant l'horaire. Ainsi, une régression logarithmique est utilisée pour estimer le temps d'attente en utilisant l'équation ci-dessous :

$$T_{att} = \begin{cases} \frac{\text{intervalle}}{2}, & \text{intervalle} \leq 5 \text{ min} \\ \frac{1.5}{(\ln 10 - \ln 5)} * \ln \text{intervalle} + 2.5 - \frac{1.5}{(\ln 10 - \ln 5)} \ln 5, & \text{intervalle} > 5 \text{ min} \end{cases}$$

Le temps de marche en correspondance prend en compte le chemin que les gens doivent réellement effectuer à pied pour changer de ligne, qui dépend donc de sa configuration (même plateforme, différents niveaux etc.). Il se distingue du temps d'attente en correspondance, qui est le temps passé sur la plateforme ou l'arrêt de bus.

Indicateur de coût

Le coût d'un trajet peut varier selon les caractéristiques du voyageur (étudiant, senior etc.) ou le forfait (10 voyages, 3 jours etc.). Si le passager possède une passe lui permettant d'avoir des trajets en illimité, son coût est considéré de 0.

Indicateurs de correspondance

Dans les correspondances, la fréquence de la ligne joue un rôle primordial, car elle détermine les conséquences d'une correspondance manquée. Le type de mode des deux lignes impliquées est aussi important. Ainsi, en plus du nombre de correspondances, un coût supplémentaire pour chaque changement de ligne est défini par :

$$C_t = 1 - \exp\left(\frac{-(intervallet - 1)^2}{\beta t}\right)$$

Où *intervallet* est l'intervalle de la ligne et βt un coefficient qui dépend des modes impliquées (bus+bus, bus+mode lourd ou mode lourd+mode lourd).

Indicateurs de directitude

La directitude du trajet s'intéresse à la distorsion du chemin en regard de la ligne de désir, reprenant ainsi l'idée de Raveau et al. (2014). Si le trajet comprend une ou plusieurs correspondances, seul le coût angulaire est considéré. Ce dernier reprend la formulation de Raveau & al. (2014):

$$C_{ang} = \sum_l dl * \sin\left(\frac{\theta_l}{2}\right)$$

Où *l* est une ligne, *dl* la distance directe sur la ligne *l* et θ_l l'angle entre la ligne de désir et la direction de la prochaine correspondance (voir figure ci-dessous).

Si le trajet ne comporte pas de correspondance, alors la hauteur maximale *Hmax* est introduite. Cette dernière est la distance maximale entre la ligne de désir et la ligne de transport en commun (voir figure ci-dessous).

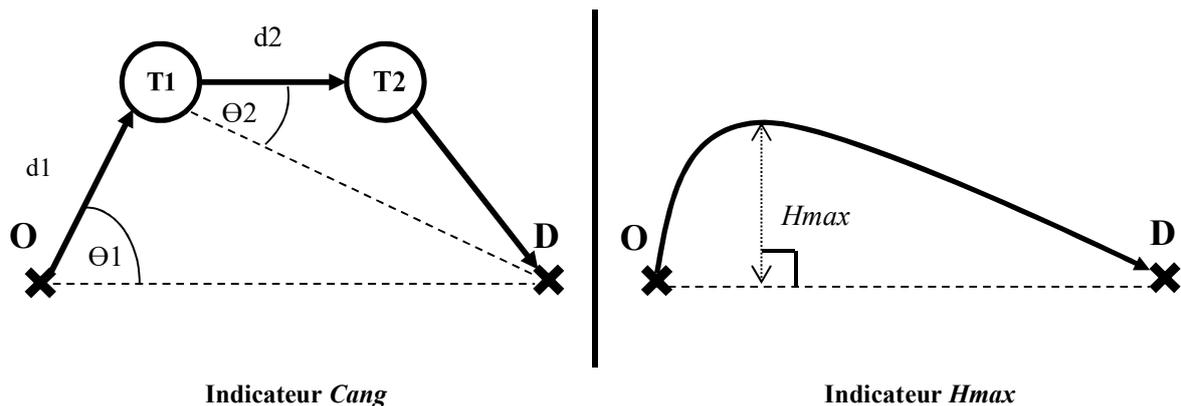


Figure 35. Illustration des indicateurs de directitude

Indicateurs de performance

La performance de chaque alternative inclut deux indicateurs. *Caph* est la capacité théorique de la ligne empruntée multiplié par sa fréquence (en passagers/heure). Si le trajet contient plusieurs lignes, alors l'indicateur est pondéré par le temps en véhicule sur chaque ligne. L'espacement entre les arrêts est également un aspect important, car il peut affecter la perception d'efficacité d'une ligne. En effet, un service express qui évite certains arrêts améliore non seulement la vitesse commerciale, mais aussi la perception de performance. L'indicateur correspondant est alors le nombre d'arrêts par kilomètre *Stopkm*.

Indicateurs en développement

D'autres indicateurs sont en développement pour évaluer les alternatives de transport en commun, concernant des aspects plus qualitatifs comme la fiabilité et le confort. Les données nécessaires pour ce genre d'éléments sont souvent inexistantes, empêchant ainsi tout calcul empirique.

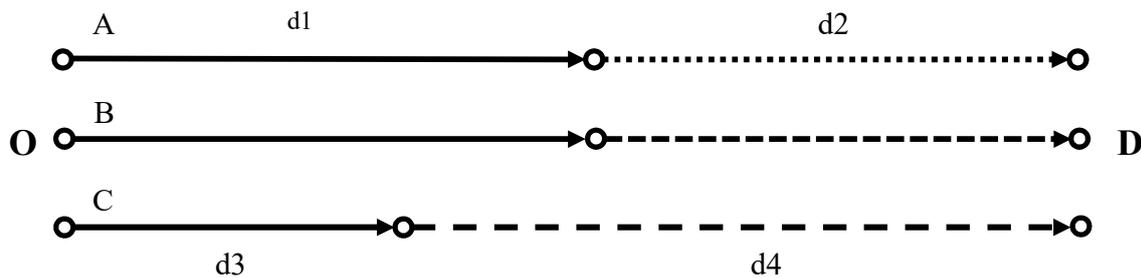


Indicateur d'indépendance

Etant donné que les alternatives peuvent avoir certains segments de leurs lignes en commun, il est nécessaire de déterminer leur niveau d'indépendance. Pour cela, un indicateur est calculé pour chaque indicateur selon la formule suivante :

$$in = \frac{1}{dn} * \sum_s ds * \frac{1}{ns}$$

Où dn est la distance totale des lignes de l'alternative n , s est une section de l'alternative n , ds est la longueur de la section s et ns est le nombre d'alternative utilisant le même segment s (voir figure ci-dessous).



$$iA = \frac{1}{d1 + d2} * \left(\frac{d3}{3} + \frac{d1 - d3}{2} + d2 \right)$$

$$iB = \frac{1}{d1 + d2} * \left(\frac{d3}{3} + \frac{d1 - d3}{2} + d2 \right)$$

$$iC = \frac{1}{d3 + d4} * \left(\frac{d3}{3} + d4 \right)$$

Développement des indicateurs

Filtrage

Afin de ne sélectionner seulement les alternatives les plus pertinentes, les contraintes suivantes sont appliquées :

- Tous les chemins doivent contenir des lignes parcourant au minimum 2 arrêts
- Aucune alternative ne doit inclure plus de 3 correspondances
- Les temps d'accès et de sortie ne doivent pas dépasser 20 minutes chacun, le temps de correspondance 30 minutes, et le temps de trajet maximal ne doit pas dépasser 2 fois le temps du meilleur trajet
- Le niveau d'indépendance d'une alternative doit être d'au moins 20%.

Classement par qualité

Pour pouvoir rassembler tous les indicateurs ensemble et formuler un score de qualité pour chaque alternative, il est nécessaire de changer leur forme. En effet, ces derniers possèdent tous des mesures et des unités différentes (temps, longueur, coût etc.). Pour cela, une valeur référence est fixée pour chacun des indicateurs, et une fonction de comparaison permet de formuler un score en pourcentage pour chacune des catégories précitées (temps, coût, correspondance, directitude et

performance). Chacune de ces catégories est ensuite pondérée, suivant l'importance que l'on souhaite leur donner. Une moyenne pondérée fournit au final un score de qualité pour chacune des alternatives. Leur classement est alors possible par ordre de qualité individuelle ainsi trouvée.

Indicateurs de qualité et diversité globaux

Pour obtenir un score de qualité pour l'ensemble des alternatives, le classement précédent est réutilisé. Les N meilleures alternatives sont alors sélectionnées, N restant fixé à chaque fois que la méthode est répétée. S'il y a moins de N alternatives pour le trajet considéré, on attribue un score de qualité individuelle de 0 pour chacune des alternatives manquantes. Ensuite, une moyenne pondérée par le niveau d'indépendance et la position dans le classement est réalisée sur ces N meilleures alternatives, menant au score de qualité global.

Pour l'indicateur de diversité global, un seuil de qualité est fixé afin de ne sélectionner que les alternatives au-dessus d'un certain niveau de qualité. Une somme du niveau d'indépendance de ces alternatives, multiplié par leur score de qualité individuel, permet alors de calculer le score de diversité global de l'ensemble des alternatives.

3.4.5 Étude de cas

La méthode est testée sur 10 paires Origines-Destination ayant tous comme destination commune Polytechnique (voir carte ci-dessous). Les alternatives de transport en commun ont été obtenues en utilisant l'outil en ligne de Google Maps, pour un jour de semaine et un départ compris entre 6h et 9h du matin. Les chiffres à côté des origines indiquent le nombre d'alternatives trouvées.

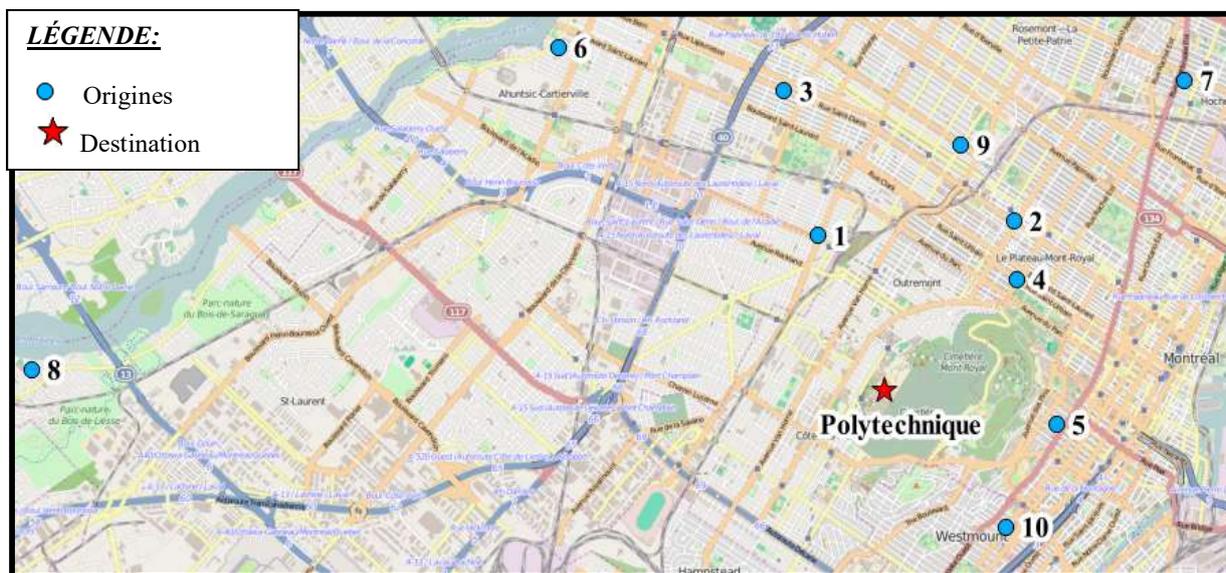


Figure 36. 10 paires Origine-Destination ayant comme destination Polytechnique

La méthode est implémentée dans un premier temps sur un cas de référence, pour lequel aucune catégorie n'est particulièrement mise en avant. Les indicateurs de qualité et de diversité des 10 paires O-D sont calculés pour N=5 et un seuil de qualité de 20%. Les résultats sont présentés dans le quadrant « Réf » de la figure ci-dessous. Le score de diversité n'est pas compris entre 1 et 10 (nombre d'alternatives effectivement trouvées) puisqu'il prend en compte également le niveau d'indépendance et la qualité individuelle. C'est ce qui explique également le fait que la paire OD avec 8 alternatives a un score de diversité plus faible que celle avec 4 alternatives. De plus, on peut



remarquer une corrélation positive entre la diversité et la qualité. Cela est notamment dû au fait que l'indicateur de diversité prend en partie en compte la qualité individuelle de chaque alternative, et donc augmente avec la qualité globale.

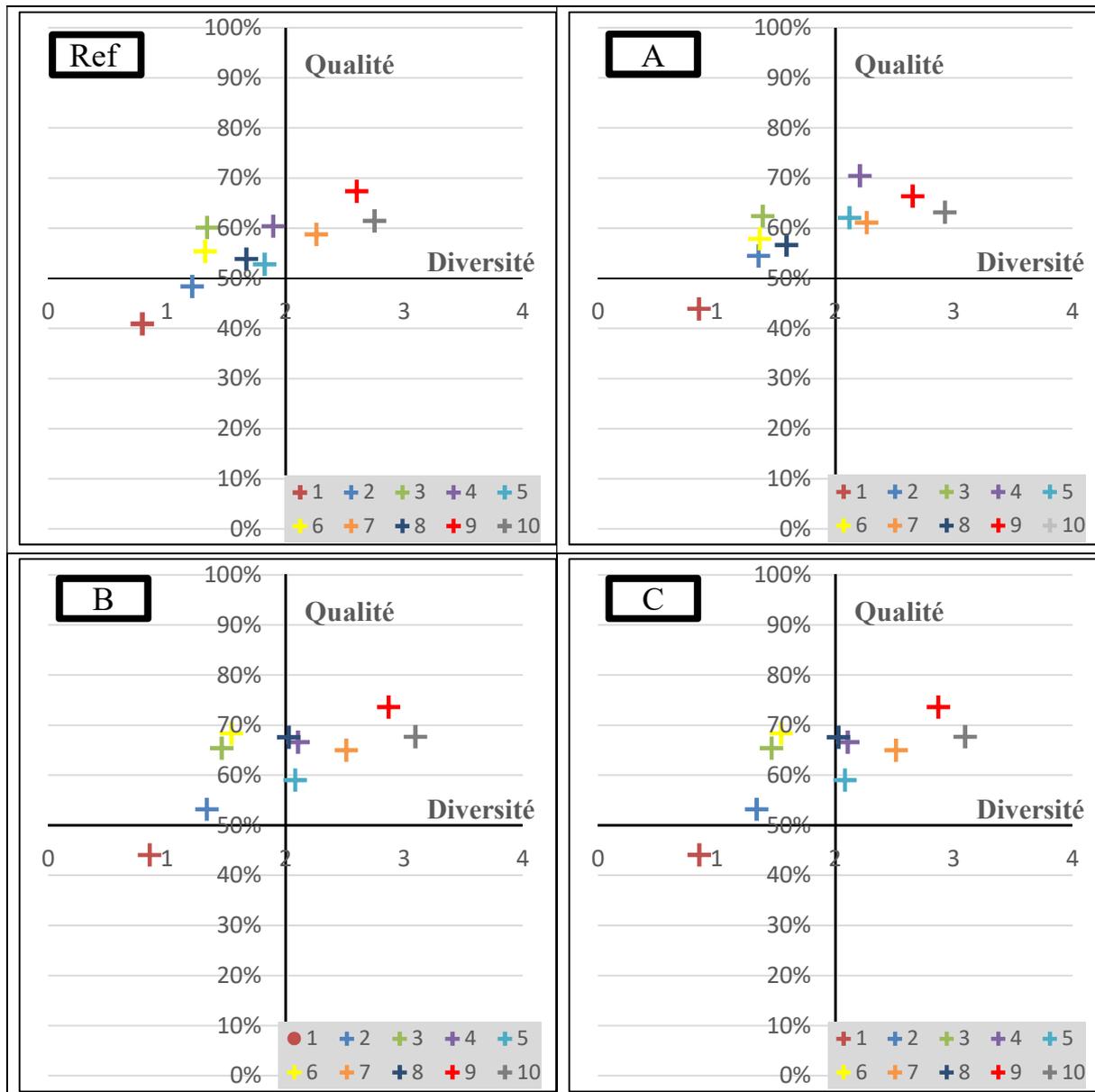


Figure 37. Résultats du calcul des indicateurs de qualité et diversité selon différents paramètres

Les 3 autres quadrants de la figure sont des calculs de diversité et de qualité pour les mêmes 10 paires OD, pour lesquelles les coefficients de pondération mettent en avant certains aspects. Le cas « A » accentue l'importance des correspondances dans les trajets, le cas « B » la fréquence et le cas « C » la valeur du temps. Les résultats montrent que certaines paires OD voient une différence de l'ordre de 10% en qualité globale et 0.5 points en score de diversité suivant la pondération effectuée.



3.4.6 Conclusion

La méthode proposée permet ainsi de comparer les indicateurs de qualité et diversité des alternatives de transport en commun pour différentes paires OD, en s'intéressant à des valeurs désagrégées. Elle peut être appliquée dans divers contextes, possédant des données et des réseaux différents. Sa faculté d'adaptation s'exprime de deux manières : de nouveaux indicateurs peuvent facilement s'ajouter dans le calcul de qualité de chaque alternative, et les facteurs de pondération présents permettent de mettre l'emphase librement sur certains aspects.

Différentes perspectives de recherche sont envisageables, par le développement d'indicateurs liés à des éléments plus qualitatifs ou encore à l'amélioration des procédures permettant de calculer les alternatives. Enfin, les indicateurs de diversité et de qualité peuvent être testés comme des variables explicatives du choix modal.



3.5 Attributs qui influencent les choix d'itinéraire des conducteurs

- Étudiant : Hamzeh Alizadeh
- Supervision : Saunier / Morency / Bilal
- État : Fin prévu avril 2018
- Financement : Partiel Chaire

La congestion est un problème croissant au Canada ainsi que pour de nombreux autres pays. Elle réduit notre qualité de vie, affecte notre économie, et dégrade notre environnement en gaspillant plus de carburant et en produisant plus de contaminants de l'air. Les voitures sont de plus en plus accessibles, efficaces, confortables et propres. Par conséquent, de nombreux voyages sont effectués en voiture, ce qui induit de la congestion routière (Chen, 2013b). La dépendance en voiture chez les Canadiens a augmenté de 68% en 1992 à 74% en 2005, tandis que le mode de transport actif (marche et vélo) a baissé de 26% en 1992 à 19% en 2005 (Turcotte, 2008).

En 2006, Transport Canada a étudié le coût annuel de la congestion dans les neuf plus grandes villes de Canada. On considère que les conditions de circulation sont en congestion lorsque la vitesse observée correspond à 50% de la vitesse en écoulement libre. Transport Canada a constaté que Montréal se situe au deuxième rang des contributeurs aux 3,1 milliards de dollars correspondant au coût évalué de la congestion au Canada. Des mesures telles que la durée de la période de pointe, le pourcentage de voyage en motif travail versus non-travail, la valeur du temps, le prix du carburant et le coût unitaire pour atténuer l'émission des gaz à effet de serre ont été pris en compte dans le calcul (*The High Cost of Congestion in Canadian Cities*, 2012). En 2003, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a étudié le coût socio-économique de la congestion en supposant qu'il y a congestion lorsque la vitesse observée est sous 60% de la vitesse en écoulement libre. Des mesures telles que le temps, l'âge du véhicule, le carburant, la pollution et les émissions des gaz à effet de serre ont été pris en compte dans l'étude. Les résultats ont démontré que la congestion à Montréal coûte 1,4 milliard de dollars par année (Ministère des Transports du Québec, 2009).

Les choix d'itinéraires des individus, ou plus généralement les déplacements sont interprétés comme "la demande" dans le réseau routier. Cette demande peut causer de la congestion récurrente quand elle dépasse la capacité ou en d'autres termes "l'offre". La demande se matérialise en flux de circulation qui à son tour est le résultat des déplacements et donc les choix d'itinéraire des individus (Dhakar, 2012a; Frejinger, 2008; Hoogendoorn-Lanser, 2005; Sikka, 2012). Comme les déplacements sont essentiels au bien-être social et à l'économie, la construction de nouvelles infrastructures est considérée par les autorités comme une première solution pour atténuer l'effet de la congestion sur la vie quotidienne. Cependant, il a été conclu que l'augmentation de la capacité grâce à la construction des nouvelles infrastructures n'est probablement pas la meilleure façon de traiter ce problème. Elle peut même induire une plus forte demande, causant plus de congestion.

Par conséquent, il est très important de mieux comprendre le comportement de choix d'itinéraire des conducteurs afin de pouvoir atténuer les effets négatifs de la congestion. Ces comportements sont capturés par les modèles de choix d'itinéraire basés sur les choix observés des conducteurs. La modélisation de choix d'itinéraire est un enjeu très important dans la planification des transports. Les modèles de choix d'itinéraire constituent le cœur des modèles d'affectation et sont fondamentaux pour prévoir les conditions de la circulation, ainsi que pour concevoir de nouvelles



infrastructures de transport, pour examiner de nouvelles politiques, et pour développer la navigation routière et les systèmes d'information avancés pour les voyageurs.

La modélisation de choix d'itinéraire, qui modélise le choix d'itinéraire de chaque individu entre une paire origine et destination, est probablement l'un des problèmes les plus complexes et laborieux de l'affectation de la circulation. Selon les analystes, ce choix est fait en minimisant un certain coût perçu, ce qui est unique pour chaque conducteur. Ce coût peut être attribué à des facteurs tels que le temps de déplacement, la distance de déplacement, la congestion, la sécurité routière, la complexité de la route, le nombre de feux de circulation, le motif de déplacement, la consommation de carburant, le péage, les types de routes, l'expérience du conducteur, et les habitudes de prendre la même route répétitivement.

En outre, les choix d'itinéraire varient dépendamment des caractéristiques des conducteurs. Ainsi, pour avoir un modèle de choix d'itinéraire plus représentatif, il est essentiel de considérer différentes sources d'hétérogénéité dans les choix des conducteurs. Cette hétérogénéité se produit par des préférences, des expériences et des attitudes qui varient parmi les conducteurs. Par exemple, en ce qui concerne les préférences, un individu préfère un itinéraire avec un meilleur paysage, tandis qu'un autre individu cherche l'itinéraire le plus rapide; en termes d'expériences, les conducteurs plus expérimentés peuvent être plus familiers avec le réseau; et en termes d'attitudes, certains conducteurs peuvent être plus agressifs que d'autres ou avoir de meilleures aptitudes spatiales. Les attributs précités sont en quelque sorte reliés, ce qui peut former différents types de préférences, et conséquemment différentes catégories de conducteurs. La littérature nous montre que les différentes catégories de conducteurs sont observables (Tawfik et Rakha, 2013; Tawfik et al. 2010a, 2010b; Tawfik et al., 2011).

Par conséquent, une importante question de recherche est *"Quels sont les principaux attributs qui influencent les choix d'itinéraire des conducteurs?"* et *"Comment les différents facteurs affectant les choix d'itinéraire peuvent-ils être regroupés en différentes catégories en fonction des itinéraires choisis?"* Une autre question pertinente serait *"Comment différentes classes d'attributs peuvent-elles former des catégories de conducteurs?"* Après la catégorisation des conducteurs une autre question serait *"Comment ces nouvelles catégories améliorent-elles les modèles de choix d'itinéraire?"*

En outre, la définition de l'ensemble des alternatives considérées a toujours été un défi sérieux dans la modélisation de choix. L'ensemble des alternatives considérées est généralement défini comme étant un sous-ensemble particulier de l'ensemble universel de choix, à partir duquel le décideur fait son choix (Horowitz & Louviere, 1995). L'ensemble universel de choix comprend toutes les alternatives existantes. Tenir compte d'un ensemble d'alternatives considérées représente mieux le processus hiérarchique de choix qui mène à des estimations et des prévisions améliorées (Horowitz & Louviere, 1995). Pour résoudre ce problème, les individus utilisent généralement une sorte de processus de sélection afin de réduire le grand nombre d'alternatives dans l'ensemble universel de choix pour établir un ensemble considérablement plus petit, comprenant seulement les alternatives sérieusement envisagées par les individus, parmi lesquelles le choix final est fait (Hauser & Wernerfelt, 1990).

Un autre défi dans la modélisation du comportement de choix d'itinéraire est la sélection d'une méthode de collecte de données adéquate pour recueillir des données appropriées. Les études de choix d'itinéraire sont rarement basées sur des données collectées à des fins de modélisation de choix d'itinéraire. Différents types d'enquête ont été utilisés pendant plusieurs années pour



recueillir des données sur les choix d'itinéraire tels que les sondages par téléphone, le courrier et le face-à-face. Des simulateurs de voyages et de conduite ont également été utilisés dans quelques études. Au cours des dernières années, l'utilisation prédominante de la technologie GPS a permis aux chercheurs de recueillir des données beaucoup plus précises sur les choix d'itinéraire.

En bref, nous abordons trois principales questions en matière de modélisation de choix d'itinéraire:

- Tout d'abord, comment intégrer la représentation mentale de la hiérarchie spatiale et les effets des "points de repère" dans les modèles de choix d'itinéraires et plus précisément dans le processus de génération de l'ensemble de choix.
- Deuxièmement, comment améliorer les méthodes de collecte de données à des fins de modélisation de choix d'itinéraire.
- Enfin, comment introduire plus d'hétérogénéité comportementale dans les modèles de choix d'itinéraire en incorporant des clusters représentatifs des conducteurs.

L'objectif principal de cette recherche est d'étendre la compréhension sur le comportement de choix d'itinéraire des conducteurs à l'aide des données GPS ainsi que des données obtenues grâce à une enquête. Plus précisément, cette recherche tente de contribuer à la littérature existante par les méthodes suivantes:

- Examiner les données GPS pour étudier l'influence des points de repère, ou plus généralement une représentation spatiale hiérarchique, sur le processus de choix de l'itinéraire des conducteurs utilisant un modèle d'utilité aléatoire à plusieurs étapes.
- Développer une meilleure enquête pour recueillir des données plus appropriées à des fins de modélisation de choix d'itinéraire. La prise en compte des alternatives considérées par le conducteur en utilisant une interface graphique sera un aspect contribuant de ce nouvel encadrement de collecte de données.
- Introduire une typologie représentative des conducteurs en fonction des attributs importants qui affectent leurs choix d'itinéraires.
- Introduire plus d'hétérogénéité comportementale et de préférence dans les modèles de choix d'itinéraire en intégrant les types de conducteurs. Cela pourrait fournir un meilleur moyen d'introduire plus d'hétérogénéité dans les modèles de choix de l'itinéraire.

3.5.1 Revue de la littérature

Dans la section suivante une revue de la littérature concise sera fournie sur:

- Les facteurs influant sur les choix d'itinéraire,
- La prise de décision hiérarchique,
- Les méthodes de collecte de données, et
- La modélisation des choix d'itinéraire.

Facteurs influant sur les choix d'itinéraire

Selon les analystes, les conducteurs ont tendance à choisir leur chemin entre une paire OD en minimisant les coûts engendrés. Le fait que chaque conducteur choisit un itinéraire différent peut être attribué aux différents niveaux de connaissances et d'informations, différentes capacités de

combiner ces informations, et différentes aptitudes de calcul et de prévision. Ce comportement de choix individuel peut fortement affecter la circulation routière (Ben-Akiva et al., 1991; Prato, 2009). Chaque expérience de choix d'itinéraire peut affecter nos préférences personnelles selon son résultat satisfaisant ou insatisfaisant (Dia, 2002). Il est soutenu que la répétition des résultats satisfaisants peut créer une préférence stable en formant une tendance à répéter le même choix pour le même motif (Ben-Akiva et al., 1991).

La Figure 38 présentée par (Bovy & Stern, 1990) résume les facteurs qui influencent le comportement de déplacement en quatre catégories. La composante physique comprend les caractéristiques du réseau et les possibilités de déplacement. La composante sociodémographique inclut des facteurs tels que les caractéristiques des ménages, l'âge et le sexe. L'environnement normatif comprend l'ensemble des normes et des valeurs provenant de la société qui entoure le voyageur. Ces trois facteurs ainsi que l'environnement personnel, qui se compose essentiellement de la personnalité et des attitudes personnelles du voyageur, affectent le comportement de déplacement du décideur (Bovy & Stern, 1990).

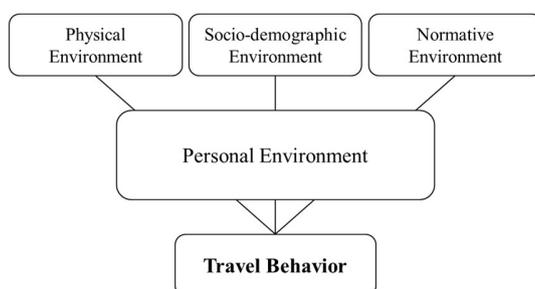


Figure 38. Facteurs influant sur le comportement de déplacement (Bovy & Stern, 1990).

En général, Jan et al. (2000) ont proposé quatre catégories de facteurs qui influencent le choix d'itinéraire (voir Tableau 13). Ces catégories ne comprennent pas les facteurs géographiques qui sont indiqués comme étant importants dans certaines autres études.

Tableau 13. Facteurs influant sur les décisions de choix d'itinéraire (Jan et al., 2000).

Voyageur	Âge, sexe, niveau de revenu, éducation, structure de ménage, race, profession, durée de résidence, nombre de conducteurs et véhicules dans le ménage, etc.	
Chemin	Route	Temps de parcours, coût de déplacement, limites de vitesse, temps d'attente, type de route, largeur, longueur, et nombre de voies, angularité, intersections, ponts, pentes, etc.
	Circulation	Densité, congestion, nombre de virages, panneaux d'arrêt, feux de circulation, vitesse de déplacement, stationnement, probabilité d'accident, fiabilité du temps de parcours, etc.
	Environnement	Esthétique, utilisation du sol le long de la route, paysages, embarquement / débarquement facile, etc.
Déplacement	Motif, budget de temps, heure de départ, mode de déplacement, nombre de voyageurs.	
Circonstances	Les conditions météorologiques, jour / nuit, accident, information, etc.	

Différents aspects des facteurs influant sur les décisions de choix d'itinéraire ont été étudiés. Ces facteurs comprennent les caractéristiques démographiques et socioéconomiques du voyageur, les caractéristiques des déplacements (tels que le motif, la durée, le coût, etc.), l'état de la circulation (tels que le niveau de congestion, niveau de service, etc.), les caractéristiques des routes,

informations obtenues (comme le niveau de l'information, le type et l'exactitude de l'information, etc.), et les circonstances générales (telles que les conditions météorologiques, l'heure de la journée, etc.). Le Tableau 14 résume certaines de ces recherches.

Plusieurs études ont mentionné qu'une classification représentative des conducteurs en fonction de leurs choix d'itinéraires est un élément manquant de la littérature. Selon Parkany et al. (2006), la classification des conducteurs en différentes catégories en fonction de leurs attitudes envers la sélection d'un itinéraire entre une paire OD peut améliorer les modèles de choix de route et également les modèles d'affectation de la circulation. Tawfik et al. (2010a, 2010b, 2011) ont reconnu que l'incorporation des différentes classes de conducteurs dans les modèles de choix d'itinéraire est absente de la littérature. Tawfik et al. (2010a) ont regroupé les conducteurs en fonction de leur âge, sexe, origine ethnique, niveau d'éducation, expérience de conduite, et des miles annuels parcourus et a trouvé des différences significatives dans leurs comportements de choix d'itinéraire. Ils ont affirmé que l'incorporation de différentes classes de conducteurs peut améliorer la précision des modèles de choix d'itinéraire. Ramaekers et al. (2013) a proposé la stratification des modèles d'affectation en incorporant différentes typologies d'attitudes envers les choix d'itinéraire. La plupart des modèles de choix d'itinéraire actuels incorporés dans les modèles de simulation sont basés sur la minimisation du temps de parcours. Tenir compte d'une nouvelle source d'hétérogénéité en incorporant différentes catégories de conducteurs permettrait d'améliorer les modèles de choix d'itinéraire.

Tableau 14. Résumé des recherches sur les facteurs influant sur les choix d'itinéraire.

Étude	Données	Modèle	Facteurs Significatifs
Mannering, 1989	-	Analyse Poisson	3, 9, 12
Iida et al., 1994	Préférence déclarée	Mesures statistiques * Modèles linéaires	28, 30
Mannering et al., 1994	-	Modèles logit	1, 9, 12
Abdel-Aty, 1994	-	Probit bivarié	9, 12, 16, 26
Abdel-Aty et Jovanis	Préférence déclarée	Modèle logit binaire	1, 2, 3, 4, 5, 6
Peeta et al., 2000	Préférence déclarée	Modèles logit	9, 12, 28
Cascetta et al., 2002	Préférence déclarée	Modèle logit binaire	1, 12, 17
Parkany et al., 2006	Préférence déclarée	Modèle logit binaire	3, 9, 10,
Cools et al. (2009a)	Enquête des ménages	Régression de Poisson	1, 9, 10, 23
Papinski et al. (2009)	GPS	Mesures statistiques *	1, 3, 4, 6, 21, 22
Cools et al. (2009b)	Comptage	Régression linéaire	20
Ben-Elia et Shiftan (2010)	Préférence déclarée	Modèle logit mixte	14, 15, 25, 29
Cools et al. (2010)	Préférence déclarée	Mesures statistiques *	20
Tawfik et al. (2010a)	Simulateur de conduite / Questionnaire	Mesures statistiques *	1, 6, 9, 15, 24
Tawfik et al. (2010b)	Simulateur de conduite / Questionnaire	Mesures statistiques *	1, 6, 9, 15, 24, 25
Tawfik et al. (2011)	Simulateur de conduite / Questionnaire	Modèle linéaire généralisé	6, 9, 15, 24, 25
Gan et Chen, 2013	Préférence déclarée	Modèle logit binaire	14, 15, 16
Jou et Yeh (2013)	Préférence déclarée	Modèle logit mixte	1, 5, 6, 8, 10, 12, 18, 19
Tawfik et Rakha (2013)	Questionnaire	Structure latente	1, 6, 9, 15, 24, 26, 27
Ramaekers et al. (2013)	GPS	Modèle logit multinomial	8, 9, 10, 11
Maio et al. (2013)	-	Modèle par jour	28, 29
Koller-Matschke et al. (2013)	GPS / Simulateur de conduite	Mesures statistiques *	1, 18, 28, 29,



1- Temps de déplacement	11- Type de route	21- Panneaux d'arrêt
2- Fiabilité du temps de parcours	12- Socioéconomique	22- Feux de circulation
3- Cond. de circulation (Niveau de service)	13- Tolérance de retard	23- Jours fériés
4- Nombre de segments	14- Familiarité avec le réseau	24- Vitesse
5- Pourcentage sur autoroutes	15- Expérience de conduite	25- Apprentissage
6- Distance de déplacements	16- Éducation	26- Catégories des conducteurs
7- Nombres d'intersections	17- Topologie	27- Personnalité
8- Heure de départ	18- Inertie	28- Disponibilité d'information
9- Sociodémographique	19- Taux de péage	29- Type d'information
10- Motif	20- Conditions météorologiques	30- Qualité d'information

* Les mesures statistiques comprennent les analyses descriptives, analyse de variance, les méthodes de régression, etc.

La prise de décision hiérarchique

Beaucoup d'efforts ont été investis dans la science du comportement, la psychologie, et la géographie comportementale pour améliorer la compréhension du processus sous-jacent de la prise de décision. Il a été soutenu dans la science du comportement que les décideurs ont tendance à simplifier l'ensemble universel de choix pour former un ensemble plus petit des alternatives considérées en raison de restrictions telles que des limitations de mémoire et des contraintes de traitement d'information (Hauser et Wernerfelt, 1990; Manrai et Andrews, 1998; Tversky et Kahneman, 1974). L'ensemble des alternatives considérées est généralement défini comme étant un sous-ensemble particulier de l'ensemble universel de choix, à partir duquel les décideurs font leur choix (Horowitz et Louviere, 1995). L'ensemble universel de choix comprend toutes les alternatives existantes face au décideur.

Il a été indiqué dans la littérature que le processus hiérarchique de choix est mieux représenté en considérant un ensemble de choix, ce qui conduit à des estimations et des prévisions améliorées (Horowitz & Louviere, 1995). Généralement, les individus utilisent un processus de sélection pour réduire le grand nombre d'alternatives dans l'ensemble universel de choix pour établir un ensemble nettement plus petit, comprenant seulement les alternatives sérieusement envisagées, parmi lesquelles le choix final est fait (Hauser & Wernerfelt, 1990).

Wiener et Mallot (2003) ont soutenu que les individus suivent une stratégie hiérarchique de planification en tenant compte des régions et de leur connectivité comme des éléments hiérarchiques de l'espace. Dans cette représentation, les régions sont définies comme étant des groupes de lieux formant des nœuds de niveau supérieur. Ils suggèrent que les individus visent tout d'abord à atteindre la région de destination plutôt que le lieu de destination exact et c'est seulement ensuite qu'ils prévoient le reste de la route. De même, Bailenson et al. (2000) ont argumenté que les voyageurs planifient leurs itinéraires en utilisant une séquence de régions en tenant compte de la rectitude et de la longueur du segment initial.

Il a également été suggéré que les "*points de repère*" et les "*points d'ancrage*", étant les points focaux avec des caractéristiques importantes, peuvent influencer les décisions de choix d'itinéraire (Couclelis et al., 1987; Golledge et al, 1985; Kaplan et Prato, 2012; Kazagli et Bierlaire, 2015; Lynch, 1960; Manley et al, 2015a, 2015b; Prato et al., 2012). Selon Couclelis et al., (1987), les points d'ancrage sont des points de repère plus personnalisés avec des applications supplémentaires dans des tâches cognitives comprenant l'orientation, l'évaluation de la distance et l'estimation de la direction. Les infrastructures principales routières telles que les ponts, les autoroutes, les échangeurs éminents, les carrefours importants, et les carrefours giratoires distingués peuvent être



considérés comme des points de repère ou des points d'ancrage subjectifs dans la modélisation de choix d'itinéraire (Habib et al., 2013; Manley et al., 2015).

Manley et al., (2015) suggèrent que la représentation mentale de la hiérarchie spatiale influence les décisions de choix d'itinéraire. Ils proposent une représentation hiérarchique de l'espace, représenté de haut en bas par des régions, des nœuds et des routes. Dans cette structure hiérarchique, le choix des itinéraires est fait à travers une séquence de sélection des régions, des nœuds entre les régions consécutives, et du plus court chemin entre les nœuds successifs. De même, Kazagli et Bierlaire (2015) affirment que les conducteurs décrivent leurs itinéraires en utilisant une courte séquence des éléments mentaux comprenant les points de repère ou des morceaux d'infrastructures au lieu d'utiliser une représentation séquentielle des liens. Ces éléments comprennent des composants tels que le centre-ville, un pont spécifique, une autoroute, ou un quartier et sont utilisés pour décrire les différentes alternatives. Manley et al. (2015) ont étudié l'importance des points d'ancrage dans le choix d'itinéraire et ont constaté que certaines caractéristiques attirent plus de voyageurs. Les points d'ancrage sont utilisés comme endroits de base pour la planification d'itinéraire. En outre, pour mettre davantage l'accent sur le rôle significatif des points d'ancrage, ils ont proposé une modélisation subjective conceptuelle des choix d'itinéraire, en se basant sur le rôle des points d'ancrage et l'écart minimum par rapport à l'emplacement cible.

Afin de mieux représenter le processus hiérarchique de choix, au moins un modèle à deux étapes devrait être utilisé (Hauser et Wernerfelt, 1990). Dans la première étape, différentes stratégies sont utilisées pour déterminer la composition de l'ensemble de choix considéré. Selon Ben-Akiva et Boccara (1995), ignorer cette étape peut avoir de graves conséquences sur la qualité des résultats. Une approche déterministe de génération de choix peut être utilisée pour éliminer les alternatives qui ne sont pas disponibles pour certains individus; cependant, puisque l'ensemble de choix considéré est latent et non observé, les méthodes probabilistes sont préférées (Ben-Akiva et Boccara, 1995; Horowitz et Louvière, 1995; Manrai et Andrews, 1998). Dans la deuxième étape du modèle, le choix final est fait par le décideur en considérant seulement l'ensemble de choix défini dans l'étape précédente (Manski, 1977).

Les méthodes de collecte de données

La collecte de données est l'un des principaux défis de la modélisation de choix d'itinéraire. Sondages téléphoniques, par courrier, et face-à-face sont parmi les méthodes les plus primitives qui ont été largement utilisées pour recueillir des données de préférences révélées et de préférences déclarées. Plusieurs problèmes sont associés aux carnets de voyage tels que la sous-déclaration des déplacements effectués, le fardeau du répondant, les inexactitudes, et les incertitudes concernant le temps et le lieu des déplacements déclarés (Bricka et al. 2009; Bricka et al., 2012; McGowen, 2006). Pour réduire le fardeau du répondant, des Entrevues Téléphoniques Assistées par Ordinateur et des Entrevues sur le Web Assistée par Ordinateur ont été développées et conçues (Murakami et Wagner, 1999). Selon Dhakar (2012b), Papinski (2011) et Srinivasan et Dhakar (2013), les carnets de voyage ne peuvent pas être très efficaces pour la collecte de données à long terme et des données détaillées pour la modélisation des choix d'itinéraire dû au fardeau supplémentaire des répondants (Chen, 2013a). Des technologies plus avancées comme les simulateurs de voyage et simulateurs de conduite ont été ultérieurement utilisées dans quelques études sur les choix d'itinéraire (Koller-Matschke et al., 2013; A. M. Tawfik et al., 2010a).



Au cours des dernières années, l'utilisation répandue de la technologie GPS a fourni aux chercheurs une abondance de données géo-spatiales à haute résolution. L'une des principales contributions de GPS dans les systèmes de transport peut être son potentiel à compléter les enquêtes de voyage. Un avantage important de la collecte de données par GPS par rapport aux autres méthodes est qu'il minimise le fardeau du répondant, car les répondants ne sont pas obligés de se rappeler leurs choix ou de traiter différentes quantités d'informations pour préciser leurs choix. Un autre avantage de la collecte de données par GPS est que les dispositifs peuvent collecter des données pendant plusieurs jours sans ajouter au fardeau du répondant. En outre, il fournit aux chercheurs des informations détaillées sur le chemin parcouru, qui peuvent être accompagnées par des informations supplémentaires telles que la direction et la vitesse du véhicule.

Par contre, travailler avec des données GPS apporte plusieurs complexités, dont la taille colossale de l'ensemble de données, l'absence de données due à la perte de signal, et des problèmes technologiques tels que la durée de vie de la batterie et la précision des enregistrements, entre autres. Une autre limitation de la collecte de données par GPS qui concerne principalement les études de choix d'itinéraire est que l'état de la circulation sur les autres alternatives est inconnu, et l'ensemble de choix considéré à partir duquel le conducteur fait son choix n'a pas été identifié. Figure 39 démontre les faiblesses des enquêtes sur les déplacements et représente l'application, les avantages, et les faiblesses de la collecte de données par GPS.

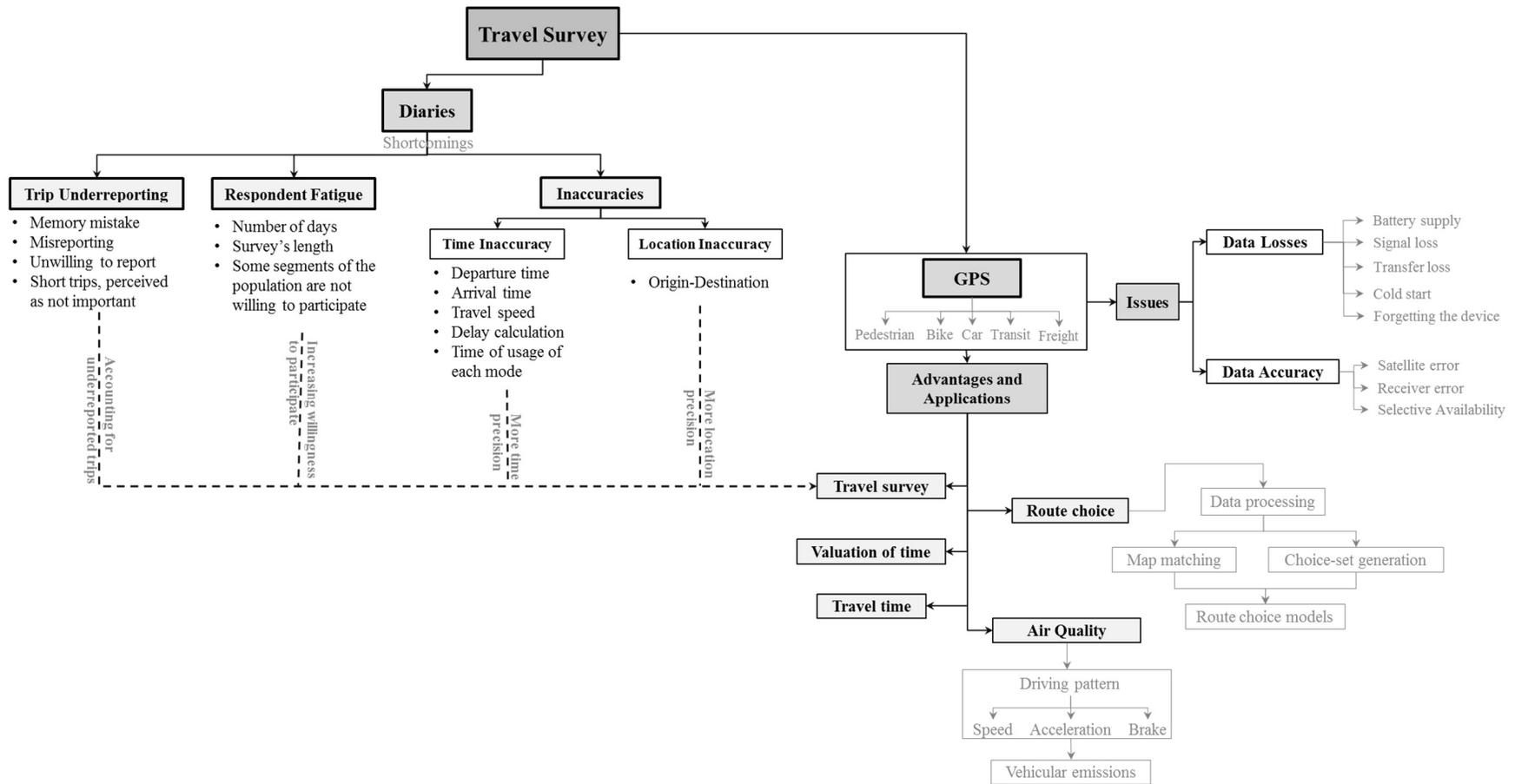


Figure 39. Les avantages et inconvénients de la collecte de données GPS par rapport aux données obtenues à partir des carnets de voyage



La modélisation des choix d'itinéraire

Le comportement complexe de choix d'itinéraire a été étudié pendant des décennies et différentes formes de modèles ont été développées pour le représenter correctement. Ces modèles portent sur la sélection de la meilleure route à partir d'un ensemble d'alternatives pour chaque individu. Parmi ces types de modèles sont la logique floue, réseau de neurones artificiels, la psychologie cognitive, et la modélisation de choix discret. Cette étude se concentre sur les modèles existants dans le cadre des modèles de choix discret.

Le concept de « l'utilité » qui a été utilisé dans les sciences économiques suppose que les préférences des individus peuvent être représentées par une valeur nommée utilité. Puisque le décideur est supposé comme n'ayant pas une parfaite connaissance sur les différents facteurs du réseau tels que les attributs des liens, les coûts et les alternatives, la « *théorie de l'utilité aléatoire* » a été introduite pour tenir compte de l'erreur attribuée (Ben-Akiva & Bierlaire, 2003). La fonction d'utilité aléatoire est présentée ci-dessous est formée d'une partie déterministe et un terme aléatoire.

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$$

La partie déterministe de la fonction d'utilité aléatoire V_{in} dépend des caractéristiques et préférences de chaque décideur. ε_{in} est la partie aléatoire de la fonction d'utilité aussi connue sous le terme « *erreur* » qui représente les composants incertains et stochastiques.

Selon les analystes, chaque décideur cherche à trouver le chemin qui maximise l'utilité. Par conséquent, la probabilité que l'alternative i soit choisie par décideur n à partir de l'ensemble de choix C_n est:

$$P(i|C_n) = P \left[U_{in} = \max_{j \in C_n} U_{jn} \right]$$

Différents types de modèles ont été développés basés sur plusieurs hypothèses et différentes distributions des composants déterministes V_{in} et stochastiques ε_{in} . Le modèle logit multinomial est l'exemple le plus simple de ces modèles, qui suppose que les composantes de l'erreur de la fonction d'utilité aléatoire sont indépendamment et identiquement distribuées (IID) avec une distribution de Gumbel.

$$P(i|C_n) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_j}}$$

où $P(i|C_n)$ est la probabilité de choisir l'alternative i de C_n , C_n est l'ensemble de chemins possibles pour l'individu n , et V_i et V_j sont l'impédance du chemin i et j , respectivement.

Ce modèle est basé sur l'hypothèse de l'indépendance des alternatives non pertinentes, qui suppose l'indépendance des différentes alternatives dans l'ensemble de choix. Cela n'est probablement pas le cas dans le réseau routier réel ce qui mène à une surestimation des routes avec des liens communs. Conséquemment, différentes méthodes ont été proposées pour améliorer ce type de modèle et pour examiner les effets de la corrélation entre les différentes alternatives.

Les modèles qui modifient la partie déterministe de la fonction d'utilité comprennent *C-Logit*, *Path-Size Logit* et *Path-Size Correction Logit*. Les modèles qui représentent des similitudes dans la partie stochastique de la fonction d'utilité et qui présentent une expression de forme fermée pour la probabilité de choix sont connus comme des modèles généralisés des valeurs extrêmes (GVE). Ils incluent : *Paired Combinatorial Logit*, *Cross Nested Logit* et *Generalized Nested Logit*. Les

modèles non-GEV représentent les similitudes dans la partie stochastique de la fonction d'utilité, mais ne présentent pas une expression de forme fermée pour la probabilité de choix et comprennent *Multinomial Probit*, *Mixed Logit*, *Logit Kernel with Random Coefficient* et *Logit Kernel with Factor Analytic Approach* (

Figure 40) (Dhakar, 2012a; Prato, 2009).

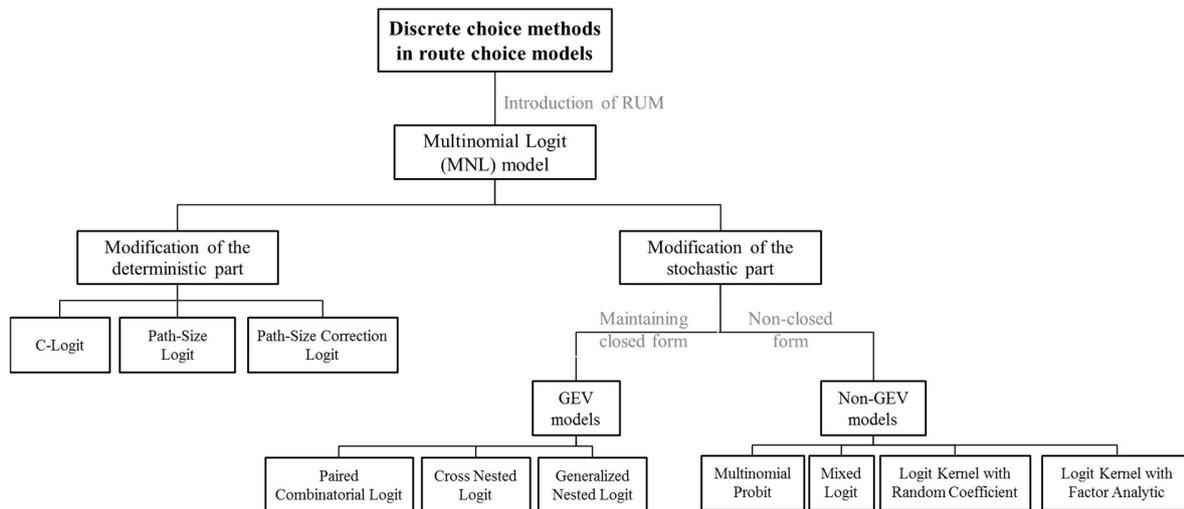


Figure 40. Résumé des modèles de choix discrets pour le choix d'itinéraire

3.5.1 Méthodologie, avancement, et les résultats attendus

Dans cette section, nous présentons la méthodologie adoptée, le progrès réalisé, les défis rencontrés, les résultats obtenus, ainsi que les résultats attendus pour les différentes parties de cette recherche.

Tout d'abord, nous étudions l'effet des points de repère et d'une représentation spatiale hiérarchique sur le processus de choix d'itinéraire des conducteurs en explorant des données GPS. Ensuite, nous présentons la conception d'une enquête web pour la collecte de données aux fins de modélisation de choix d'itinéraire.

Un modèle d'utilité aléatoire hiérarchique pour la modélisation des choix d'itinéraire

Introduction

Comme indiqué précédemment, tenir compte d'un ensemble raffiné d'alternatives améliore les estimations et les prédictions du modèle. Le processus de génération de l'ensemble de choix peut être très coûteux en temps et compliqué, puisque le nombre de routes possibles entre deux points dans un réseau routier peut être extrêmement grand. Un plus petit sous-ensemble de l'ensemble universel de choix se compose des routes considérées par le conducteur. Pourtant, la plupart du temps, cet ensemble est trop grand et coûteux en calcul à des fins de modélisation. Par conséquent, les chercheurs ont développé des méthodes pour raffiner davantage cet ensemble et ce, afin de créer l'ensemble de choix considéré. La formation de l'ensemble de choix considéré et le choix actuel à partir de cet ensemble sont deux étapes consécutives séparées.

Les méthodes de génération de choix proposées sont soit déterministes ou probabilistes. Un ensemble de choix est déterministe quand le décideur utilise un certain seuil pour un ou plusieurs

critères afin de savoir si une alternative devrait être incluse dans l'ensemble de considération ou non. Par exemple, un individu peut considérer uniquement les alternatives avec le temps de parcours inférieur à un certain seuil attendu. Au contraire, les méthodes probabilistes estiment la probabilité de disponibilité d'une alternative, par rapport à l'effet des différents attributs.

En géographie comportementale, il a été soutenu que les individus ont une perception hiérarchique de leur environnement spatial. En outre, divers chercheurs ont confirmé que les éléments spatiaux saillants tels que les ponts, échangeurs, etc. influencent les choix des conducteurs.

Dans cette étude, une méthode probabiliste de génération de choix sera utilisée pour étudier l'effet des points de repère, dans ce cas, les ponts reliant deux régions distinctes, sur la production de l'ensemble de choix et la modélisation des choix d'itinéraire.

Contexte et données

Dans cette étude, le contexte de la région de Montréal sera étudié. L'aspect unique de cette région est que l'île de Montréal est séparée du reste de la région par deux grands cours d'eau. Afin d'étudier l'effet des ponts sur les choix de route, nous avons étudié les déplacements effectués entre Montréal et Laval. L'île de Montréal est connectée à Laval par neuf ponts. Les déplacements entre ces deux régions impliquent de franchir au moins un pont. La Figure 41 illustre l'emplacement des neuf ponts reliant Montréal à Laval et le Tableau 15 résume certaines des propriétés de ces ponts Habib et al. (2013).

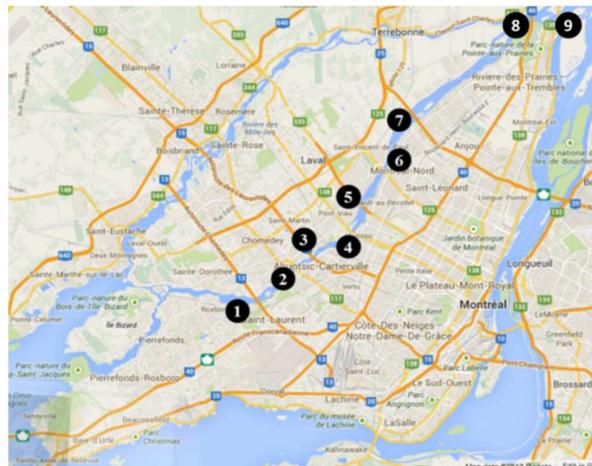


Figure 41. Ponts reliant Montréal et Laval.

Tableau 15. Description des ponts reliant Montréal et Laval (Habib et al., 2013)

ID	Nom	Nombre de voies	Longueur (km)	Type de route	Limite de vitesse	Péage
1	Pont Louis-Bisson	4	0.474	Autoroute (13)	100	Non
2	Pont Lachapelle	3	0.499	Artère	50	Non
3	Pont Mederic-Martin	4	0.254	Autoroute (15)	100	Non
4	Pont Viau	2	0.703	Artère	50	Non
5	Pont Papineau-Leblanc	3	0.323	Autoroute (19)	100	Non
6	Pont Pie-IX	3	0.458	Artère	80	Non
7	Pont Olivier-Charbonneau	3	1.200	Autoroute (25)	100	Oui
8	Pont Charles-De-Gaulle	3	1.398	Autoroute (40)	100	Non
9	Pont Le Gardeur	2	0.627	Artère	100	Non

Description de la base de données

Une grande base de données GPS a été fournie par une compagnie de taxi et a été traitée et examinée pour cette étude. Les données pour le mois d'octobre 2014 ont été extraites de la base de données comprenant plus de 15 millions d'enregistrements GPS. L'ensemble de données comprend deux tables : 1) la table des enregistrements GPS qui contient des informations concernant les points enregistrés tels que ID, le temps, la longitude, la latitude, la vitesse, etc. et 2) le tableau des événements qui comprend des informations concernant l'état du taxi, par exemple, lorsque le compteur a été activé / désactivé, où le passager est monté et descendu du taxi, etc. Ces deux tables sont liées par une clé interne énumérant chaque déplacement. La Figure 42 montre le schéma de la base de données.

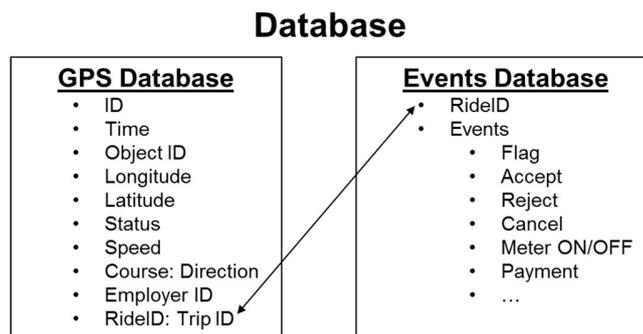


Figure 42. Structure interne de la base de données

La base de données a été raffinée en sélectionnant les voyages entre Montréal et Laval avec un passager à bord. La base de données finale se compose de plus de 2000 déplacements et 35 000 enregistrement GPS. La carte de chaleur des origines et destinations est illustrée à la Figure 43.

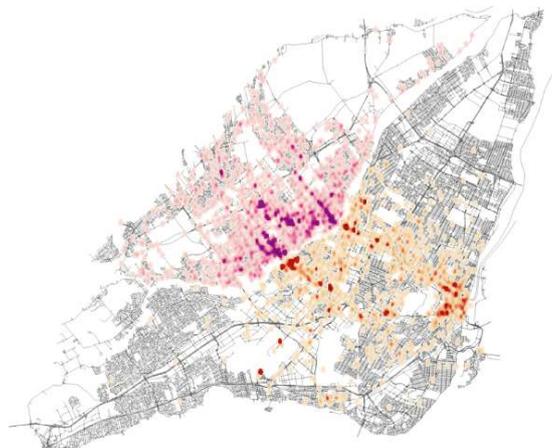


Figure 43. Carte de chaleur des origines et destinations des déplacements entre Montréal et Laval

Map-matching et inférence de chemin

Afin d'obtenir le chemin exact suivi par les chauffeurs de taxi, nous devons suivre les points GPS enregistrés. Étant donné que les positions enregistrées ne sont pas précises, la position réelle de chaque point sur le réseau routier doit être déduite. Ce processus est appelé map-matching. Ensuite, des méthodes d'inférence de chemin sont utilisées pour déterminer le trajet le plus probable que le conducteur a suivi entre deux points GPS consécutifs. Dans cette étude, on a associé chaque point



enregistré au lien le plus proche dépendamment de sa direction. Une fois qu'on a terminé le processus de map-matching, on a adopté l'algorithme du plus court chemin basé sur le temps de parcours pour déduire le trajet emprunté entre deux points GPS consécutifs. Les routes reconstruites sont illustrées sur la Figure 44.

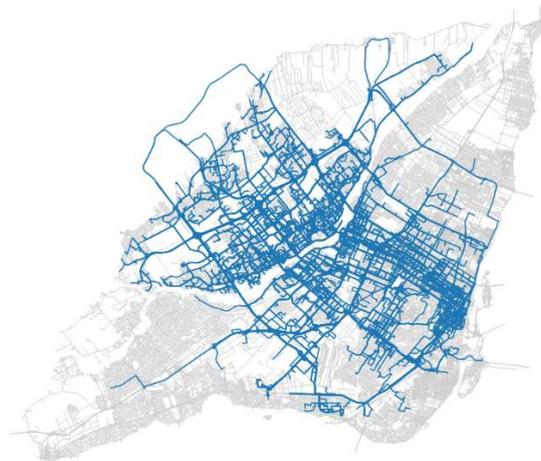


Figure 44. Routes reconstruites à partir des données GPS

Génération de l'ensemble de choix

Afin de construire l'ensemble de choix, on a utilisé l'algorithme de plus court chemin basé sur le temps de parcours. Les alternatives pour chaque paire O-D ont été définies par les plus courts chemins traversant les neuf ponts alternatifs. La Figure 45 montre les alternatives dérivées pour une paire OD.

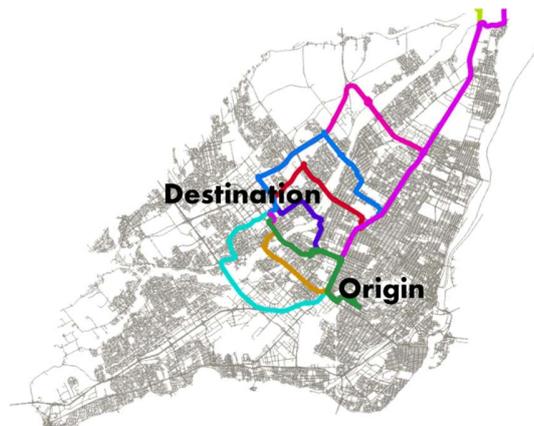


Figure 45. Alternatives dérivées pour une paire OD.

L'ensemble de choix considéré pour chaque paire OD sera un sous-ensemble de cet ensemble de choix qui sera basé sur la probabilité de choix de pont.

Base de données pour la modélisation

Une fois que nous avons déterminé le chemin complet entre chaque paire OD et ses alternatives, on a extrait les caractéristiques et attributs représentatifs de chaque route en vue de construire la base de données de modélisation. Les caractéristiques suivantes ont été dérivées pour chaque chemin choisi et ses alternatives:



- rideid: ID unique pour chaque déplacement;
- dep_time: L'heure de début du déplacement avec une résolution d'une heure;
- gps_duration: Le temps de parcours calculé à partir des enregistrements GPS;
- distance: La longueur du trajet;
- ffs_duration: Temps de parcours en vitesse d'écoulement libre;
- hw_len: La longueur du chemin qui a été parcouru sur l'autoroute;
- per_hw_len: Le pourcentage du chemin qui a été parcouru sur l'autoroute;
- seg: Nombre de segments;
- turns: Nombre de virages;
- bridge: Le pont qui a été franchi;
- bridge_len: La longueur du pont;
- bridge_wd: La largeur du pont;
- bridge_ln_no: Nombre de voies sur le pont;
- bridge_hw_acc: Accès à pont par l'autoroute;
- bridge_ffs: La limite de vitesse sur le pont.

Modélisation

La prochaine étape de cette recherche sera la modélisation des choix d'itinéraire. Dans cette étude, nous allons adopter un modèle d'utilité aléatoire en deux étapes pour étudier l'effet des points de repère sur les choix d'itinéraire. Une représentation générale d'un modèle probabiliste de choix à deux étapes est proposée par (Manski, 1977) pour estimer la probabilité qu'un individu n choisit l'alternative i d'un ensemble de choix $M_n = \{1, 2, 3, \dots, m\}$, $M_n \subseteq M$; m et M étant le nombre total d'alternatives possibles et l'ensemble universel de choix, respectivement:

$$P_n(i) = \sum_{C \in G_n} P_n(i|C)P_n(C)$$

où $P_n(i)$ exprime la probabilité de sélection de l'alternative i par l'individu n ayant M_n ; $P_n(C)$ définit la probabilité de sélection du sous-ensemble C de tous les $2^m - 1$ sous-ensembles non vides de M_n ; et $P_n(i|C)$ est la probabilité de sélection i ayant l'ensemble de choix C .

Dans la première étape d'un modèle à deux étapes, la composition de l'ensemble de choix est formée. Dans ce cas, la composition de l'ensemble de choix pour chaque individu dépend de la disponibilité du pont reliant les deux régions. Cette disponibilité n'est pas directement observée, donc une méthode probabiliste sera utilisée pour générer l'ensemble considéré.

La deuxième étape du modèle s'occupe de la sélection du choix final parmi l'ensemble considéré de choix. Cette étape prend généralement la forme d'un modèle logit multinomial simple, mais en raison de corrélations entre les alternatives qui pourraient exister parmi les itinéraires, un modèle plus avancé serait adopté par cette étude. Dans cette étude, nous allons adopter le modèle *Path-size Logit*. Ce modèle a été présenté par Ben-Akiva et Bierlaire (1999) et modifie le modèle MNL en introduisant un terme de correction dans la fonction d'utilité.

$$P(i|C_n) = \frac{e^{V_i + \beta_{PS} + \ln PS_i}}{\sum_{j \in C_n} e^{V_j + \beta_{PS} + \ln PS_j}}$$

où PS_i et PS_j sont les facteurs "path-size" des alternatives i et j , respectivement, et β_{PS} est un paramètre à estimer. Le "path size" démontre la fraction de la route qui n'est pas superposée. Par



conséquent, un chemin sans chevauchement a une valeur de taille de trajet de 1 tandis que N chemins identiques ont une taille de trajet de $1/N$:

$$PS_i = \sum_{a \in \Gamma_i} \left(\frac{l_a}{L_i} \right) \frac{1}{\sum_{j \in C_n} \delta_{aj}}$$

$$PS_i = \sum_{a \in \Gamma_i} \left(\frac{l_a}{L_i} \right) \frac{1}{\sum_{j \in C_n} \delta_{aj} \frac{L_{C_n}^*}{L_j}}$$

où Γ_i est l'ensemble de liens du trajet i , l_a est la longueur du lien a , L_i et L_j sont les longueurs des chemins i et j , respectivement, δ_{aj} est la variable binaire lien-chemin (1 si un lien est sur le chemin j ; sinon 0), et $L_{C_n}^*$ est la longueur du plus court chemin dans l'ensemble de choix.

Développement d'une enquête de choix d'itinéraire

Comme indiqué précédemment, les études de choix d'itinéraire sont principalement basées sur des enquêtes ménages déplacements. Ces études ont été récemment enrichies par l'introduction de données GPS. Cette étude tend à améliorer les données collectées à des fins de modélisation des choix d'itinéraire en élaborant un cadre de collecte de données amélioré. Le cadre proposé se compose de cinq sections distinctes de questions, *Votre ménage*, *Votre profil*, *Vos itinéraires*, *Vos préférences*, et *Fin*. Une brève description de ces sections suit:

Votre ménage: Le but de cette section est d'obtenir des informations représentatives concernant le ménage des répondants. Étant donné que les enquêtes de choix d'itinéraires ont généralement une taille plus petite que les enquêtes de ménages, cette section permettra au chercheur de comparer, d'étendre, et de généraliser les résultats obtenus de cette enquête par rapport aux résultats obtenus des grandes enquêtes de ménages effectués dans la même région. Des questions concernant le nombre de personnes et de voitures dans le ménage, l'adresse du domicile et le type de logement, sont posées dans cette section. Leur familiarité avec leur quartier résidentiel est évaluée en utilisant une question de type curseur et une autre question à choix multiple concernant leur durée résidence dans le même quartier.

Votre profil: Cette section vise à recueillir des informations concernant le profil démographique et la mobilité des personnes interrogées dans deux sections distinctes. Dans la première section, des questions démographiques sur le sexe, l'âge, l'occupation principale, et l'adresse du lieu de travail sont abordées. Aussi le niveau de familiarité avec le réseau routier du lieu de travail est évalué dans cette section. Dans la section suivante, des questions générales sont posées sur la mobilité des individus : possession d'un permis de conduire, d'un abonnement de transport en commun et d'un abonnement à l'autopartage, fréquence d'usage de voiture personnelle ainsi que les types d'informations consultées avant et après avoir quitté le point d'origine du déplacement.

Vos itinéraires: Dans cette section, les répondants indiquent toutes les alternatives qu'ils considèrent pour se rendre à leur lieu de travail, en utilisant une interface graphique. Cela fournit aux chercheurs l'ensemble de choix qui est généralement considéré latent. Tenir compte de cet ensemble de choix révélé devrait améliorer les estimations et les prévisions des modèles développés. Pour avoir une meilleure compréhension de l'importance de chaque alternative indiquée, les répondants doivent préciser la fréquence de choix de chaque alternative pour les 10 voyages précédents vers la même destination. Étant donné que les arrêts réguliers (garderie, école, café, etc.) pourraient influencer les choix d'itinéraire de certains conducteurs, les répondants doivent préciser pour chaque itinéraire si un arrêt régulier existe.



Pour chaque itinéraire défini, le répondant doit indiquer le temps de parcours, l'heure de départ, et le montant de péage. En outre, le répondant doit évaluer plusieurs facteurs décrivant la route, comme la sécurité routière, l'attractivité esthétique, la fiabilité du temps de parcours, et l'état de la circulation. Par ailleurs, étant donné que certains participants préfèrent prendre un même chemin de manière répétitive, l'inertie de prendre la même alternative est également un facteur important à être évalués dans cette section.

Vos préférences: Les attitudes des conducteurs, leurs préférences, leurs expériences, leurs perceptions, leur connaissance du réseau et leurs capacités spatiales sont parmi les facteurs qui influencent considérablement leurs choix d'itinéraires. Dans cette enquête, nous avons l'intention de capturer l'effet de ces facteurs sur les décisions de choix d'itinéraire. Des modèles *Logit Mixtes* seront utilisés pour estimer l'effet mixte de ces indicateurs avec les attribues du chemin emprunté pour améliorer les estimations et les prédictions du modèle. En outre, ces indicateurs seront essentiels pour capturer l'hétérogénéité latente des choix d'itinéraire. Des modèles d'utilité aléatoire avec des classes ou des variables latentes seront utilisés pour mieux décrire l'effet de ces indicateurs sur les décisions de choix d'itinéraire.

Afin de capter ces indicateurs, des questions sont posées concernant les préférences sur les types de routes (autoroute, locale et etc.), la qualité de la chaussée, la vitesse de déplacement, la sécurité routière, l'esthétique, les conditions de circulation, la familiarité avec le réseau, l'aptitude de l'orientation spatiale, les informations concernant l'itinéraire choisi, le temps de parcours et la fiabilité du temps de parcours.

Fin : Dans la dernière partie de notre enquête, on cherche des informations concernant le niveau de revenu et de l'éducation du répondant, et son accès à l'internet haute vitesse et au téléphone intelligent. Une question ouverte permettra aux répondants de laisser toutes informations complémentaires ou commentaires nécessaires.



4 Rayonnement

Cette section fait état de différentes activités de la Chaire entre mai 2014 et avril 2015 ainsi que de publications pertinentes. Cette liste n'est pas exhaustive.

4.1 Publications et participation à des conférences

4.1.1 94th Annual Meeting of the Transportation research board (janvier 2015, Washington D.C.)

- Panéliste lors de la session « The Two Worlds of Transit Planning Practice and of Academic Research: Growing Gulf or Possible Bridges? »
- Wielinski, G., Trépanier, M., Morency, C. What About Free-Floating Carsharing? A Look at the Montreal Case.
- Bahbouh, K., Wagner, J., Morency, C., Berdier, C. TraClus-DL: Desire Line Clustering Framework to Identify Demand Corridors

4.1.2 AQTR 2015 - 50^e Congrès annuel de l'Association québécoise des transports (Montréal, mars 2015)

- Morency, C., Guillemette, Y, Trépanier, M., Verreault, H. Pour en connaître un peu plus sur le transport interurbain par autocar au Québec.
- Bruneau, J.-F., Morency C. Comment intégrer les besoins de sécurité des personnes à mobilité réduite dans les rues partagées et les grands espaces publics?
- Morency, C., Verreault, H., Trépanier M, Bourdeau, JS. BIXI : portrait objectif de 6 années d'utilisation à Montréal
- Bruneau, J.-F., Morency C. Sécurité réelle et sécurité perçue dans l'environnement piétonnier et cyclable des quartiers montréalais
- Sicotte, G., Morency, C., Farooq, B. Choix modal : quand la chaîne crée la contrainte
- Nouri, P., Morency, C. Conducteur moyen? Connais pas? Développement de cycles de conduite pour Montréal
- Bahbouh, K., Wagner, J., Morency, C., Berdier, C. (2015). Outils de diagnostic de l'adéquation offre – demande
- Légaré, F., Trépanier, M, Morency, C., Blouin, R., De La Chevrotière, C. (2015). Les défis de l'enrichissement des données de cartes à puce à partir de données de comptes à bord
- Hassani, O.S., Morency, C., Saunier, N. (2015). Mobilité des travailleurs et scénarios de gestion des déplacements faits en automobile
- Lacombe, A., Morency, C. (2015). Taxi : analyse spatiotemporelle de l'offre et de la demande à Montréal
- Verreault, H., Adjogou, F., Morency, C. (2015) Une première expérience concluante d'enquête Origine-Destination combinant les modes web et téléphonique : le cas de Sherbrooke.



→ Morency, C., Habib, N.K., Salem, S., Verreault, H (2015). Quand le pont dicte le trajet.

4.1.3 10th ISCTSC (International Conference on Transport Survey Methods)

→ **Bourbonnais, PL**, Morency, C. Patterning Respondent Behaviors from 9 Web Travel Surveys

→ Morency, C., Verreault, H. The Chronic Issue of Proxy Respondent Bias

4.2 Autres activités de rayonnement de la titulaire Catherine Morency

4.2.1 Participation à des comités

- Présidente du comité organisateur de la 11th International Conference on Transport Survey Methods qui se tiendra au Québec en 2017 (4 membres dans le comité)
- Vice-Présidente scientifique (Co-Chair) de la 10th International Conference on Transport Survey Methods tenue en Australie en novembre 2014 (autre co-chair est Marcela Munizaga, professeur au Chili)
- Membre du comité d'évaluation des projets ANR (Comité 22 – Mobilité et systèmes urbains durables) - Paris, France
- Directrice de la Table d'expertise Transport Collectif et membre de la Table d'expertise Mobilité durable de l'Association québécoise des transports.
- Membre du comité de sélection du IATBR 2015 Lifetime Achievement Award
- 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).
- Rapporteur pour l'examen des travaux de Jimmy Armoogum en vue de l'obtention du diplôme de HDR Sciences économiques, juillet 2014.
- Membre du conseil d'administration de l'AQTr
- Membre du « Editorial Advisory Board » du journal Transportation (Springer)

4.2.2 Conférences

- Paneliste à **Smart City Expo Montréal** tenue à Montréal du 25-27 mars 2015 : Mobilité durable /Planification urbaine : les deux côtés de la médaille
- Conférencière lors de l'atelier « MONTRÉAL, MÉTROPOLE NUMÉRIQUE ETFLUIDE » organisé par **Techno-Montréal**, Montréal, 26 septembre 2014.
- Présentation au Comité de travail **Grand Montréal** - Communauté Intelligente. (Quelques) Enjeux de mobilité sur le territoire métropolitain, 2 mai 2014, Montréal.

4.2.3 Entrevues

- Entrevue aux « Années lumières » : 60 scientifiques et le climat, trois invités : Catherine Potvin, Normand Mousseau, Catherine Morency, mars 2015.



- Entrevue à « Je vote pour la science »: Un printemps vert et intelligent – présentation de l’initiative « Dialogues pour un avenir durable »
- Entrevue au **Journal Les Affaires** (en annexe) : Une expertise québécoise reconnue au-delà des frontières de la province, Édition du 21 mars 2015.
- Entrevue dans la **revue PLAN** de l’ordre des ingénieurs du Québec, Décembre 2014, Dossier Transport : « Pour en finir avec le tout-auto » et « Bonne idée/Mauvaise idée : Des péages et des ponts », pp.30-46.
- Entrevue à la Presse : Pont Champlain - Plaidoyer pour un péage intelligent, 10 novembre 2014.



5 Références

- Abdel-Aty, M. A. (1994). Models of commuters' information use and route choice: initial results based on Southern California commuter route choice survey. *Transportation research record*.(1453).
- Abdel-Aty, M., & Jovanis, P. (1997). *Using GIS Capabilities to Improve The Understanding Of Route Choice Behavior*. Paper presented at the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Agence Métropolitaine de Transport. (2015). Portrait de la mobilité. Retrieved January 14, 2015, from <https://www.amt.qc.ca/fr/a-propos/portrait-mobilite>
- Anderson, M.K. (2013). Behavioural Models for Route Choice of Passengers in Multimodal Public Transport Networks. (Thèse de doctorat, Technical University of Denmark, Kgs Lyngby, Denmark).
- André, M. (2004a). The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. *Science of the total Environment*, 334, 73-84.
- André, M. (2004b). Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions–Part A: The ARTEMIS European driving cycles. Report Inrets-LTE, 411, 97.
- André, M., Joumard, R., John Hickman, A., & Hassel, D. (1994). Actual car use and operating conditions as emission parameters: Derived urban driving cycles. *Science of the Total Environment*, 146-147, 225-233.
- André, M., Joumard, R., Vidon, R., Tassel, P., & Perret, P. (2006). Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars. *Atmospheric Environment*, 40 (31), 5944-5953. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv>.
- Arentze, T., & Timmermans, H. (2008). ALBATROSS: Overview of the model, application and experiences. Paper presented at the Innovations in Travel Modeling 2008 Conference, Portland, Oregon, USA.
- Arentze, T., Hofman, F., Van Mourik, H., & Timmermans, H. (2002). Spatial transferability of the Albatross model system: Empirical evidence from two case studies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1805, 1-7.
- Ashtari, A., Bibeau, E., & Shahidinejad, S. (2014). Using Large Driving Record Samples and a Stochastic Approach for Real-World Driving Cycle Construction: Winnipeg Driving Cycle. *Transportation Science*, 48 (2), 170-183. doi: doi:10.1287/trsc.1120.0447.
- Auld, J., & Mohammadian, A. K. (2012). Activity planning processes in the Agent-based Dynamic Activity Planning and Travel Scheduling (ADAPTS) model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), 1386-1403. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2012.05.017>
- Austin, T. C., DeGenova, F. J., Caelson, T. R., Joy, R. W., & Gianolini, K. A. (1993). Characterization of driving patterns and emissions from light-duty vehicles in California, Final report.
- Bahbouh, K., C. Morency, and C. Berdier (2015). L'approche corridor comme outil de planification, in Colloque annuel de la Chaire Mobilité. 2015: Montreal.
- Bahbouh, K., Morency, C. (2015). TraClus-DL: A Desire Line Clustering Framework to Identify Demand Corridors. in Transportation Research Board 94th Annual Meeting. 2015.



- Bahoken, F., Olteanu-Raimond, A.-M. (2013). Designing Origin-Destination Flow Matrices from Individual Mobile Phone Paths: The effect of spatiotemporal filtering on flow measurement. in proceedings of 23rd International Cartography Conference.
- Bailenson, J. N., Shum, M. S., & Uttal, D. H. (2000). The initial segment strategy: A heuristic for route selection. *Memory & cognition*, 28(2), 306-318.
- Ben-Akiva, M., & Bierlaire, M. (1999). Discrete Choice Methods and their Applications to Short Term Travel Decisions. In R. Hall (Ed.), *Handbook of Transportation Science* (Vol. 23, pp. 5-33): Springer US.
- Ben-Akiva, M., & Bierlaire, M. (2003). Discrete Choice Models with Applications to Departure Time and Route Choice. In R. Hall (Ed.), *Handbook of Transportation Science* (Vol. 56, pp. 7-37): Springer US.
- Ben-Akiva, M., & Boccara, B. (1995). Discrete choice models with latent choice sets. *International Journal of Research in Marketing*, 12(1), 9-24.
- Ben-Akiva, M., De Palma, A., & Isam, K. (1991). Dynamic network models and driver information systems. *Transportation Research Part A: General*, 25(5), 251-266. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0191-2607\(91\)90142-D](http://dx.doi.org/10.1016/0191-2607(91)90142-D)
- Ben-Elia, E., & Shiftan, Y. (2010). Which road do I take? A learning-based model of route-choice behavior with real-time information. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(4), 249-264. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2010.01.007>
- Bhat, C. R., & Lawton, K. T. (2000). Passenger travel demand forecasting Millennium Paper. Washington D.C., USA: Transportation Research Board, National Research Council.
- Boulter, P. G., Latham, S., & Ainge, M. (1999). Driving cycles for measuring passenger car emissions on roads with traffic calming measures. *Science of The Total Environment*, 235(1-3), 77-89. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00193-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00193-X).
- Bovy, P. H. (2009). On Modelling Route Choice Sets in Transportation. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 29:1, 43-68.
- Bovy, P. H., Uges, R., & Hoogendoorn, S. (2003). Modeling Route Choice Behavior in Multimodal Transport Networks. 10th International Conference on Travel Behaviour Research. August 2013, Lucerne.
- Bovy, P., & Stern, E. (1990). *Route choice: Wayfinding in transport networks*: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.
- Bowman, J. L., Bradley, M., Castiglione, J., & Yoder, S. L. (2014). Making advanced travel forecasting models affordable through model transferability. Paper presented at the 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., USA.
- Bricka, S. G., Sen, S., Paleti, R., & Bhat, C. R. (2012). An analysis of the factors influencing differences in survey-reported and GPS-recorded trips. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 21(1), 67-88. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2011.09.005>
- Bricka, S., Zmud, J., Wolf, J., & Freedman, J. (2009). Household travel surveys with GPS: an experiment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2105), 51-56.



- Brunekreef, B. and Holgate, S.T. (2002) Air Pollution and Health. *The Lancet*, 360, 1233-1242. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)11274-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(02)11274-8).
- Cambridge Systematics, Inc. & al. (2012). NCHRP Report 716, Travel Demand Forecasting: Parameters and Techniques. Washington D.C.: TRB, National Research Council.
- Cascetta, E., Russo, F., Viola, F. A., & Vitetta, A. (2002). A model of route perception in urban road networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(7), 577-592. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0191-2615\(00\)00041-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0191-2615(00)00041-2).
- Chen, J. (2013a). *Modeling route choice behavior using smartphone data*. (PhD), ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, Suisse.
- Chen, J. (2013b). *Modeling Route Choice Behavior Using Smartphone Data*. (Doctorat), École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse.
- Cools, M., Moons, E., & Wets, G. (2009a). Assessing the Impact of Public Holidays on Travel Time Expenditure Differentiation by Trip Motive. from <http://hdl.handle.net/1942/11312>
- Cools, M., Moons, E., & Wets, G. (2009b). Assessing the impact of weather on traffic intensity. from <http://hdl.handle.net/1942/9525>.
- Cools, M., Moons, E., Creemers, L., & Wets, G. (2010). Changes in Travel Behavior in Response to Weather Conditions Do Type of Weather and Trip Purpose Matter? , from <http://hdl.handle.net/1942/11311>
- Couclelis, H., Golledge, R. G., Gale, N., & Tobler, W. (1987). Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 7(2), 99-122.
- Dhakar, N. S. (2012a). *Route Choice Modeling Using GPS Data*. (Doctoral dissertation), University of Florida, Gainesville.
- Dhakar, N. S. (2012b). *Route Choice Modeling Using GPS Data*. University of Florida.
- Dia, H. (2002). An agent-based approach to modelling driver route choice behaviour under the influence of real-time information. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 10(5-6), 331-349. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0968-090X\(02\)00025-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0968-090X(02)00025-6)
- Esteves-Booth, A., Muneer, T., Kirby, H., Kubie, J., & Hunter, J. (2001). The measurement of vehicular driving cycle within the city of Edinburgh. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(3), 209-220. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1361-9209\(00\)00024-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1361-9209(00)00024-9).
- Fotouhi, A., & Montazeri-Gh, M. (2013). Tehran driving cycle development using the -means clustering method. *Scientia Iranica*, 20(2), 286-293. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scient.2013.04.001>.
- Frejinger, E. (2008). *Route choice analysis: data, models, algorithms and applications*. (Doctoral dissertation), Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Gan, H., & Chen, S. (2013). Why Do Drivers Change Routes? Impact of Graphical Route Information Panels. *ITE Journal*.
- Golledge, R. G., Smith, T. R., Pellegrino, J. W., Doherty, S., & Marshall, S. P. (1985). A conceptual model and empirical analysis of children's acquisition of spatial knowledge. *Journal of Environmental Psychology*, 5(2), 125-152.



- Gooze, A., Watkins, K. E., & Borning, A. (2013). Benefits of Real-Time Transit Information and the Impacts of Data Accuracy on the Rider Experience. Transportation Research Board 92nd Annual Meeting. Washington D.C.
- Grünwald, P.D., I.J. Myung, and M.A. Pitt, Advances in minimum description length: Theory and applications. 2005: MIT press.
- Guo, D. and X. Zhu, Origin-Destination Flow Data Smoothing and Mapping. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 2014. 20(12): p. 2043-2052.
- Habib, K. N., Morency, C., Trepanier, M., & Salem, S. (2013). Application of an Independent Availability Logit Model (IAL) for route choice modelling: Considering bridge choice as a key determinant of selected routes for commuting in Montreal. *Journal of Choice Modelling*.
- Hauser, J. R., & Wernerfelt, B. (1990). An evaluation cost model of consideration sets. *Journal of consumer research*, 393-408.
- Hoogendoorn-Lanser, S. (2005). *Modeling Travel Behavior In Multi-Modal Networks*. (Doctorate), Technical University of Delft, Netherlands.
- Horowitz, J. L., & Louviere, J. J. (1995). What is the role of consideration sets in choice modeling? *International Journal of Research in Marketing*, 12(1), 39-54.
- Hung, W. T., Tong, H. Y., Lee, C. P., Ha, K., & Pao, L. Y. (2007). Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(2), 115-128. doi: 10.1016/j.trd.2007.01.002.
- Iida, Y., Uno, N., & Yamada, T. (1994, 31 Aug-2 Sep 1994). *Experimental analysis approach to analyze dynamic route choice behavior of driver with travel time information*. Paper presented at the Vehicle Navigation and Information Systems Conference, 1994. Proceedings., 1994.
- Ishaq, R. (2011). Development of a flexible model structure for discrete choice models. (Doctor of Philosophy), Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
- Jan, O., Horowitz, A.J., Peng, Z. R., (2000). Using GPS data to understand variations in path choice. *Transp. Res. Rec.*1706, 37-44.
- Jie, L., & Niemeier, D. A. (2003). Estimating Regional Air Quality Vehicle Emission Inventories: Constructing Robust Driving Cycles. *Transportation Science*, 37(3), 330-346.
- Joh, C. H., Arentze, T., & Timmermans, H. (2001). Pattern recognition in complex activity-travel patterns: A comparison of Euclidean distance, signal processing theoretical, and multidimensional sequence alignment methods. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1752, 16-22.
- Jou, R.-C., & Yeh, Y.-C. (2013). Freeway passenger car drivers' travel choice behaviour in a distance-based toll system. *Transport Policy*, 27(0), 11-19. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.12.005>
- Joumard, R., André, M., Vidon, R., Tassel, P., & Pruvost, C. (2000). Influence of driving cycles on unit emissions from passenger cars. *Atmospheric Environment*, 34(27), 4621-4628. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00118-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00118-7).



- Kamble, S. H., Mathew, T. V., & Sharma, G. K. (2009). Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(2), 132-140. doi: 10.1016/j.trd.2008.11.008.
- Kaplan, S., & Prato, C. G. (2012). Closing the gap between behavior and models in route choice: The role of spatiotemporal constraints and latent traits in choice set formation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(1), 9-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2011.11.001>
- Kaufmann, V., & Messer, M. A. (2012). Analyse critique et propositions d'amélioration du réseau de tram genevois. Lausanne: Communauté d'études pour l'aménagement du territoire, EPFL.
- Kazagli, E., & Bierlaire, M. (2015). A Route Choice Model based on Mental Representations.
- Kitamura, R. (1996). Applications of models of activity behavior for activity-based demand forecasting. Paper presented at the Activity-Based Travel Forecasting Conference, New Orleans, Louisiana.
- Kitamura, R., Pas, E. I., Lula, C. V., Lawton, T. K., & Benson, P. E. (1996). The sequenced activity mobility simulator (SAMS): An integrated approach to modeling transportation, land use and air quality. *Transportation*, 23(3), 267-291. doi: 10.1007/BF00165705
- Kittelson & Associates Inc; al. (2013). TCRP Report 165, Transit Capacity and Quality of Service Manual 3rd edition. Washington D.C.: Transportation Research Board of the National Academies.
- Koller-Matschke, I., Belzner, H., & Glas, R. (2013). Traffic Information and Individual Driver Behaviour *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress* (Vol. 200, pp. 179-185): Springer Berlin Heidelberg.
- Kroes, E., & al. (2014). The Value Of Crowding On Public Transport In Île-De-France. 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D.C.
- Lee, J.-G., Han, J. Li, X., Gonzalez, H. (2008), TraClass: trajectory classification using hierarchical region-based and trajectory-based clustering. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2008. 1(1): p. 1081-1094.
- Lee, J.-G., J. Han, and K.-Y. Whang. (2007) Trajectory clustering: a partition-and-group framework. in *Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data*. 2007. ACM.
- Li, L., Chaosheng, H., Minghui, L., & Shuming, S. (2008, 3-5 Sept. 2008). Study on the combined design method of transient driving cycles for passenger car in Changchun. Paper presented at the Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008. VPPC '08. IEEE.
- Lin, J., & Niemeier, D. A. (2002). An exploratory analysis comparing a stochastic driving cycle to California's regulatory cycle. *Atmospheric Environment*, 36(38), 5759-5770. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00695-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00695-7).
- Lin, J., & Niemeier, D. A. (2003). Regional driving characteristics, regional driving cycles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8(5), 361-381. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1361-9209\(03\)00022-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1361-9209(03)00022-1).
- Litman, Todd. 2008. Valuing Transit Service Quality Improvements. *Journal of Public Transportation*, 11 (2): 43-63. DOI: <http://dx.doi.org/10.5038/2375-0901.11.2.3>



- Lynch, K. (1960). *The image of the city* (Vol. 11): MIT press.
- Lyons, G., & Urry, J. (2005). Travel time use in the information age. *Transportation Research Part A* 39, 257–276.
- Maio, M. L. D., Vitetta, A., & Watling, D. (2013). Influence of Experience on Users' Behaviour: A Day-to-Day Model for Route Choice Updating. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87(0), 60-74. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.594>
- Manley, E., Addison, J., & Cheng, T. (2015). Shortest path or anchor-based route choice: a large-scale empirical analysis of minicab routing in London. *Journal of Transport Geography*, 43, 123-139.
- Manley, E., Orr, S., & Cheng, T. (2015). A heuristic model of bounded route choice in urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 195-209.
- Mannering, F. L. (1989). Poisson analysis of commuter flexibility in changing routes and departure times. *Transportation Research Part B: Methodological*, 23(1), 53-60. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615\(89\)90023-4](http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615(89)90023-4).
- Mannering, F., Kim, S.-G., Barfield, W., & Ng, L. (1994). Statistical analysis of commuters' route, mode, and departure time flexibility. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2(1), 35-47. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0968-090X\(94\)90018-3](http://dx.doi.org/10.1016/0968-090X(94)90018-3)
- Manrai, A. K., & Andrews, R. L. (1998). Two-stage discrete choice models for scanner panel data: An assessment of process and assumptions. *European Journal of Operational Research*, 111(2), 193-215.
- Manski, C. F. (1977). The structure of random utility models. *Theory and decision*, 8(3), 229-254.
- McGowen, P. T. (2006). *Predicting Activity Types from GPS and GIS Data* (PhD), UNIVERSITY OF CALIFORNIA, IRVINE.
- Miller, E. J., & Roorda, M. J. (2003). Prototype model of household activity-travel scheduling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1831, 114-121. doi: 10.3141/1831-13.
- Ministère des Transports du Québec. (2009). *Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2003*.
- Mohamed, M.G. and N. Saunier. (2015) Behaviour analysis using a multi-level motion pattern learning framework. in *Transportation Research Board Annual Meeting Compendium of Papers*. 2015.
- Mohammadian, A. K., Auld, J., & Yagi, S. (2009). Recent progress on activity-based microsimulation models of travel demand and future prospects. In B. W. Sloboda (Ed.), *Transportation Statistics* (pp. 151-171): J. Ross Publishing, Inc.
- Montazeri-Gh, M., & Naghizadeh, M. (2007). Development of the Tehran car driving cycle. *International Journal of Environment and Pollution*, 30(1), 106-118.
- Morey, J. E., Limanond, T., & Niemeier, D. A. (2001). Validity of chase car data used in developing emissions cycles. *Statistical Analysis and Modeling of Automotive Emissions*, 15.



- Mota, D.R., M. Takano, and P.W.G. Taco, A Method Using GIS Integrated Voronoi Diagrams for Commuter Rail Station Identification: A Case Study from Brasilia (Brazil). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2014. 162: p. 477-486
- Mueller, C. (2005). Data Clustering. Retrieved August 10, 2015, from <http://www.osl.iu.edu/~chemuell/projects/presentations/data-clustering-overview.pdf>
- Mulvey, L., & Gingold, J. (2008). Retrieved August 10, 2015, from <http://compbio.pbworks.com/w/page/16252903/Microarray%20Clustering%20Methods%20and%20Gene%20Ontology>
- Murakami, E., & Wagner, D. P. (1999). Can using global positioning system (GPS) improve trip reporting? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 7(2-3), 149-165. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0968-090X\(99\)00017-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0968-090X(99)00017-0)
- Nassir, N., Ziebarth, J., & al. (2014). A Choice Set Generation Algorithm Suitable for Measuring Route Choice Accessibility. 93rd Annual Meeting of the The Transportation Research Board. Washington D.C.
- Nazem, M., Trépanier, M., & Morency, C. (2011). Demographic analysis of public transit route choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2217, 71-78.
- Ohio Department Of Transportation. Corridors Identification. 2013 [cited 2015 July]; Available from: https://www.dot.state.oh.us/Divisions/Planning/SPR/StatewidePlanning/access.ohio/AO40_library/Reports/Corridor/Corridor%20Identification/Corridor_Identification_Narrative.pdf.
- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*, Fourth Edition. John Wiley & Sons.
- Papinski, D. (2011). *Investigating Route Choice Decisions Using GPS and Prompted-recall Diary Data*. (PhD), McMaster University.
- Papinski, D., Scott, D.M., Doherty, S., 2009. Exploring the route choice decision making process: a comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS. *Transp.Res.Part F* 12,347-358.
- Parkany, E., Du, J., Aultman-Hall, L., & Gallagher, R. (2006). Modeling Stated and Revealed Route Choice: Consideration of Consistency, Diversion, and Attitudinal Variables. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1985(-1), 29-39. doi: citeulike-article-id:9038982 doi: 10.3141/1985-04.
- Peeta, S., Ramos, J., & Pasupathy, R. (2000). Content of Variable Message Signs and On-Line Driver Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1725(-1), 102-108. doi: 10.3141/1725-14.
- Prato, C. G. (2009). Route choice modeling: past, present and future research directions. *Journal of Choice Modelling*, 2(1), pp. 65-100.
- Prato, C. G., Bekhor, S., & Pronello, C. (2012). Latent variables and route choice behavior. *Transportation*, 39(2), 299-319.
- Ramaekers, K., Reumers, S., Wets, G., & Cools, M. (2013). Modelling Route Choice Decisions of Car Travellers Using Combined GPS and Diary Data. *Networks and Spatial Economics*, 13(3), 351-372. doi: 10.1007/s11067-013-9184-8.



- Raveau, S., Guo, Z., Muñoz, J. C., & Wilson, N. H. (2014). A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part A* 66, 185-195.
- Raveau, S., Muñoz, J. C., Grange, L. (2011). A topological route choice model for metro. *Transportation Research Part A* 45, 138–147.
- Roorda, M. J., & Miller, E. J. (2006). Past Presidents' Award for merit in transportation engineering: Assessing transportation policy using an activity-based microsimulation model of travel demand. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)*, 76, 16-21.
- Roorda, M. J., Miller, E. J., & Habib, K. M. N. (2008). Validation of TASHA: A 24-h activity scheduling microsimulation model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42, 360-375. doi: 10.1016/j.tra.2007.10.004.
- Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees *Molecular Biology and Evolution*, 4(4), 406-425.
- Saneinejad, S., & Roorda, M. J. (2009). Application of sequence alignment methods in clustering and analysis of routine weekly activity schedules. *Transportation Letters*, 1(3), 197-211.
- Schifter, I., Díaz, L., Rodríguez, R., & López-Salinas, E. (2005). A Driving Cycle for Vehicle Emissions Estimation in the Metropolitan Area of Mexico City. *Environmental Technology*, 26(2), 145-154. doi: 10.1080/09593332608618578.
- Shi, Q., Zheng, Y., Wang, R., & Li, Y. (2011). The study of a new method of driving cycles construction. *Procedia Engineering*, 16(0), 79-87. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.1055>.
- Shifan, Y., Ben-Akiva, M., Prousaloglou, K., Jong, G. d., Popuri, Y., Kasturirangan, K., & Bekhor, S. (2003). Activity-based modeling as a tool for better understanding travel behaviour. Paper presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, Switzerland.
- Sikka, N. (2012). *Understanding travelers' route choice behavior under uncertainty*. (Ph.D.), University of Iowa.
- Srinivasan, S., & Dhakar, N. S. (2013). Route-choice Modeling using GPS-based Travel Surveys.
- Statistics Canada. (2011). Population and dwelling counts, for Canada and census divisions. Canada 2011 Census. Retrieved July 30, 2013, from <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/hltfst/pd-pl/Table-Tableau.cfm?LANG=Eng&T=701>
- Tamsanya, S., Chungpaibulpattana, S., & Atthajariyakul, S. (2006). Development of automobile Bangkok driving cycle for emissions and fuel consumption assessment. Paper presented at the Proceedings of the 2nd Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2006).
- Tawfik, A. M., & Rakha, H. (2013). *A Latent Class Choice Model of Heterogeneous Drivers Route Choice Behavior Based on a Real-World Experiment*. Paper presented at the 20th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Noordwijk, Netherlands.
- Tawfik, A. M., Rakha, H. A., & Miller, S. D. (2010a). *Driver route choice behavior: Experiences, perceptions, and choices*. Paper presented at the Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE.



- Tawfik, A. M., Rakha, H. A., & Miller, S. D. (2010b). *An experimental exploration of route choice: Identifying drivers choices and choice patterns, and capturing network evolution*. Paper presented at the Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference.
- Tawfik, A. M., Szarka, J., House, L., & Rakha, H. A. (2011). *Disaggregate route choice models based on driver learning patterns and network experience*. Paper presented at the Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems.
- The High Cost of Congestion in Canadian Cities*. (2012). Retrieved from http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.mtq.gouv.qc.ca%2Fportal%2Fpage%2Fportal%2FLibrairie%2FPublications%2Ffr%2Fregions%2Fmontreal%2Fetude_eval_couts_congestion_mtl.pdf&ei=ikt0UtPyDI mayQH51YHoDA&usg=AFQjCNEH5DufEXVP69n6v4xDfBOHBjpCYw&sig2=eZ3JplhuiR86STQCLWpPaA&bvm=bv.55819444,d.aWc&cad=rja.
- Tong, H. Y., Hung, W. T., & Cheung, C. S. (1999). Development of a driving cycle for Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 33(15), 2323-2335. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00074-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00074-6).
- Turcotte, M. (2008). Life in metropolitan areas *Dependence on cars in urban neighbourhoods*. Retrieved 3/11/2013, 2013, from <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-008-x/2008001/article/10503-eng.htm#1>.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *science*, 185(4157), 1124-1131.
- van Oort, N., Drost, M., Brands, T., & Yap, M. (2015). Data-driven public transport ridership prediction approach including comfort aspects. Conference on Advanced Systems in Public Transport. Rotterdam, The Netherlands.
- Vlachos, M., G. Kollios, and D. Gunopulos (2002). Discovering similar multidimensional trajectories. in *Data Engineering, 2002. Proceedings. 18th International Conference on*.
- Whelan, G., & Crockett, J. (2009). An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding. Proceeding of the First International Conference on Choice Modelling. Harrogate, England.
- Wiener, J. M., & Mallot, H. A. (2003). 'Fine-to-coarse' route planning and navigation in regionalized environments. *Spatial cognition and computation*, 3(4), 331-358.
- Wilson, C. (1998). Analysis of travel behavior using sequence alignment methods. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1645, 52-59.
- Wilson, C. (1999). Activity pattern of Canadian women: An application of ClustalG sequence alignment software. Paper presented at the International Association for Time-Use Research Annual Meeting.
- Wood, D., Halvorsen, A., Koutsopoulos, H. N., & Wilson, N. (2015). New Methods for Measuring Passengers' Reliability Experience Using Automated Data Sources. Conference on Advanced Systems in Public Transport. Rotterdam, The Netherlands.



Xiao, Z., Dui-Jia, Z., & Jun-Min, S. (2012). A Synthesis of Methodologies and Practices for Developing Driving Cycles. *Energy Procedia*, 16, Part C (0), 1868-1873. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.286>.

Yasmin, F., Morency, C., & Roorda, M. J. (2014). Macro, meso, and micro-level validation of an activity-based travel demand model. Paper presented at the 93rd Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, Washington D.C., USA.

Yasmin, F., Morency, C., & Roorda, M. J. (2015a). Assessment of spatial transferability of an activity-based model, TASHA. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 200-213. doi: 10.1016/j.tra.2015.05.008.

Yasmin, F., Morency, C., & Roorda, M. J. (2015b). Trend analysis of activity generation attributes over time. *Transportation*. doi: 10.1007/s11116-015-9624-z

Yasmin, F., Morency, C., & Roorda, M. J. (2017). Macro-, meso-, and micro-level validation of an activity-based travel demand model. *Transportmetrica A: Transport Science*, Volume 13, Issue 3, pp. 222-249.



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)

