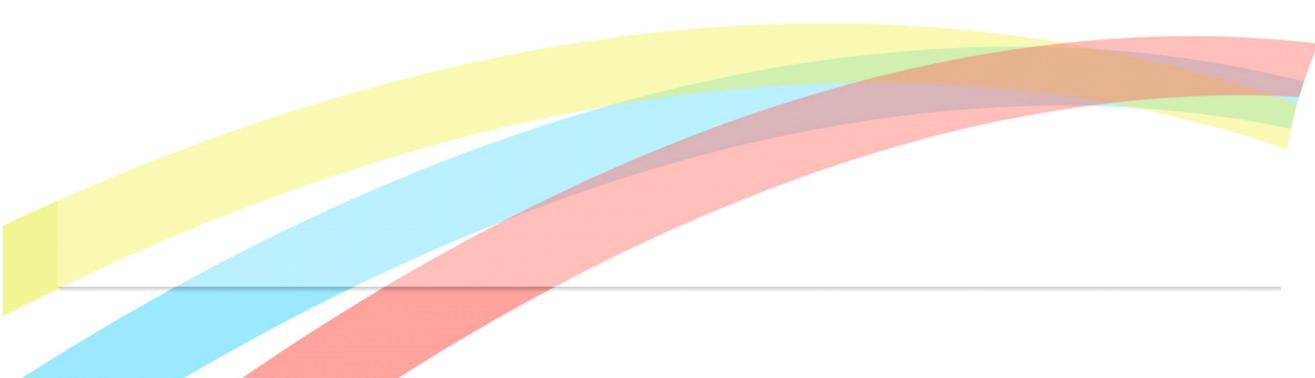


Chaire de recherche sur l'évaluation et la mise en œuvre de la durabilité en transport

*Rapport d'activités 2013-2014
Version finale*





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

Rapport d'activités 2013-2014 – Version finale

Titulaire

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

Collaborateurs

Pr Martin Trépanier, Pr Nicolas Saunier, Pr Bruno Agard, Pr Bilal Farooq
Dr Marie Demers, Hubert Verreault

Partenaires

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

Août 2015

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 (2015). Rapport d'activités 2013-2014, Version finale, Polytechnique Montréal, 230 pages.



Équipe de recherche

Professeurs-chercheurs

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

Martin Trépanier, professeur titulaire
Département de mathématiques et génie industriel

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

Bruno Agard, professeur agrégé
Département de mathématiques et génie industriel

Professionnels de recherche

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

Étudiants

Louiselle Sioui, doctorante
Pegah Nouri, doctorante
Kinan Bahbouh, doctorant
Hamzeh Alizadeh, doctorant
Catherine Plouffe, étudiante à la maîtrise
Gabriel Sicotte, étudiant à la maîtrise
Jean-Simon Bourdeau, étudiant à la maîtrise
Alexis Frappier, étudiant à la maîtrise
Oussama Saoudi Hassani, étudiant à la maîtrise

Table des matières

1	Introduction.....	1
1.1	Mission générale de la Chaire.....	1
1.2	Objectifs des travaux de la Chaire.....	1
1.3	Structure générale de la Chaire.....	2
1.3.1	Partenaires.....	2
1.3.2	Structure organisationnelle.....	2
1.4	Contenu du rapport.....	4
1.5	Cadre général de recherche.....	5
1.6	Formation de personnel hautement qualifié.....	7
1.7	Équipe de recherche actuelle et thématiques de recherche.....	7
2	Le biais du répondant.....	11
2.1	Définition d'un biais.....	11
2.2	Biais du répondant.....	11
2.2.1	Contexte.....	11
2.2.2	Objectifs.....	13
2.2.3	Système d'information.....	13
2.2.4	Facteurs externes.....	15
2.2.5	Caractéristiques sociodémographiques des répondants directs.....	20
2.2.6	Outil Excel.....	23
2.2.7	Comparaison d'indicateurs entre les répondants directs et indirects.....	27
2.2.8	Synthèse.....	50
2.2.9	Méthode de décomposition des effets.....	55
2.3	Biais de sélection.....	60
2.4	Conclusion.....	63
2.4.1	Perspectives.....	64
2.4.2	Recommandations.....	64
3	État d'avancement des thématiques spécifiques.....	66
3.1	Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils – Boîte à outils – proposition d'indicateurs.....	67
3.1.1	Objectifs et méthodologie.....	67
3.1.2	Indicateurs sélectionnés.....	68
3.1.3	Fiches méthodologiques pour chaque indicateur.....	72
3.1.4	Contributions, perspectives et recommandations.....	104
3.2	Amélioration des méthodes d'estimation des émissions polluantes liées aux véhicules routiers (Enhancing Emission Estimation from On-Road Vehicles).....	111
3.2.1	Introduction.....	111
3.2.2	Méthodologie générale d'estimation des émissions.....	112

3.2.3	Méthodologie de l'analyse de sensibilité	115
3.2.4	Travaux en cours	123
3.3	Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport	124
3.3.1	Introduction	124
3.3.2	Questionnement scientifique	124
3.3.3	Résumé de l'état d'avancement de l'année 1	125
3.3.4	Définition d'un corridor	125
3.3.5	Critères d'identification.....	125
3.3.6	Identification selon les lignes de désir des déplacements : « demande »	127
3.3.7	Conclusion	129
3.3.8	Contributions attendues.....	130
3.4	Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal.....	131
3.4.1	Introduction	131
3.4.2	Problématique	131
3.4.3	Objectifs spécifiques	131
3.4.4	Méthodologie	132
3.4.5	Résultats	137
3.4.6	Limites du projet	142
3.5	Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et chaînes de déplacements.....	144
3.5.1	Introduction	144
3.5.2	Objectif de la recherche.....	144
3.5.3	Revue de littérature	145
3.5.4	Le projet en trois défis.....	147
3.5.5	Conclusion	159
3.6	Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements	160
3.6.1	Introduction	160
3.6.2	Objectifs	161
3.6.3	Méthodologie générale.....	161
3.6.4	Détermination des capacités de stationnement sur rue à l'aide des données de réglementation	162
3.6.5	Profils d'accumulation de véhicules (PAV).....	165
3.6.6	Résultats	165
3.6.7	Études de cas	171
3.6.8	Perspectives.....	172
3.7	Indicateurs de vulnérabilité en transport : une mesure de la diversité et de la qualité des alternatives de déplacement	174
3.7.1	Introduction	174
3.7.2	Méthodologie générale.....	177
3.7.3	Échéancier du projet.....	179
3.8	Mobilité des travailleurs et scénarios de gestion de la demande de déplacements en automobile	180



3.8.1	Problématique de recherche	180
3.8.2	Objectif du projet de recherche	180
3.8.3	Mobilité des travailleurs en chiffres	181
3.8.4	Revue de littérature	182
3.8.5	Analyse des données de Statistiques Canada	190
3.8.6	Échéancier de réalisation.....	206
4	Outil intégré	207
4.1	Introduction	207
4.2	Problématique.....	208
4.3	Objectifs de la recherche	209
4.4	Aperçu schématique de l’outil et degré d’avancement des modules	211
4.5	Description de l’application.....	212
4.6	Enquêtes web réalisées avec l’outil intégré	220
4.7	Contributions principales.....	221
4.8	Outils connexes actuellement en développement	222
5	Références.....	223

Liste des figures

Figure 1. Schéma illustrant le cadre conceptuel du programme de recherche de la Chaire Mobilité.....	6
Figure 2 : Représentation schématique de la variable définissant le répondant (no_rep) de l'enquête OD 2008	15
Figure 3 : Évolution de la taille moyenne du ménage dans la GRM de 1987 à 2008 (territoire comparable 1987).	16
Figure 4 : Évolution de la proportion de répondants par rapport à l'échantillon global.....	16
Figure 5 : Évolution du nombre de déplacements par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD.....	17
Figure 6 : Évolution du nombre de déplacements motif magasinage par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD.....	17
Figure 7 : Évolution du nombre de déplacements motif travail par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD.....	18
Figure 8 : Évolution du nombre de déplacements motif loisir par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD	18
Figure 9 : Évolution du nombre de déplacements Auto-conducteur par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD.....	19
Figure 10 : Évolution du nombre de déplacements Transport en commun par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD	19
Figure 11 : Distribution des personnes et des répondants selon la cohorte et le genre (od 2008).....	20
Figure 12 : Proportion des personnes de 15 ans et plus qui sont travailleurs temps plein pour la population globale, les répondants directs et les répondants indirects (OD 2008).....	21
Figure 13 : Proportion des personnes de 20 ans et plus qui sont étudiants temps plein pour la population globale, les répondants directs et les répondants indirects (OD 2008).....	22
Figure 14 : Proportion des personnes de 20 ans et plus vivant dans un ménage ayant au moins une automobile pour la population globale, les répondants directs et les répondants indirects (OD 2008).....	23
Figure 15 : Les 8 grandes régions d'analyse disponibles dans l'outil (territoire OD 2008).....	24
Figure 16 : Section 1 de l'application Excel : Visualisation d'un indicateur pour les répondants directs et indirects. ...	26
Figure 17 : Section 2 de l'application Excel : évaluation de l'impact du biais du répondant	26
Figure 18 : Section 3 de l'application Excel : Évolution du biais du répondant	27
Figure 19 : Comparaison du nombre de déplacements par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.	28
Figure 20 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	28
Figure 21 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements par personne	29
Figure 22 : Comparaison de la proportion de non-mobiles dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	30
Figure 23 : Impact du biais du répondant pour la proportion de non-mobiles dans la GRM selon l'enquête OD 2008	30
Figure 24 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la proportion de non-mobiles.....	31
Figure 25 : Comparaison du nombre de déplacements par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008	32
Figure 26 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	32
Figure 27 : Évolution des écarts entre répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements par personne mobile	33
Figure 28 : Comparaison du nombre de déplacements TC par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008	34
Figure 29 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements TC par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	34
Figure 30 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements TC par personne	35
Figure 31 : Comparaison du nombre de déplacements en pointe AM par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	36
Figure 32 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements en pointe AM par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	36

Figure 33 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements en pointe AM par personne.....	37
Figure 34 : Comparaison du nombre de déplacements externes au domicile par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	38
Figure 35 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements externes au domicile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	38
Figure 36 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements externes au domicile par personne	39
Figure 37 : Comparaison de la durée moyenne en activité par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008	40
Figure 38 : Impact du biais du répondant pour la durée en activité (min) par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008	40
Figure 39: Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la durée en activité hors-domicile par personne	41
Figure 40 : Comparaison de la durée moyenne en activité par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	42
Figure 41 : Impact du biais du répondant pour la durée en activité (min) par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	42
Figure 42 Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la durée en activité hors-domicile par personne mobile	43
Figure 43 : Comparaison de la distance moyenne à vol d'oiseau parcourue par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008	44
Figure 44 : Impact du biais du répondant pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008	44
Figure 45 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne par jour	45
Figure 46 : Comparaison de la distance moyenne à vol d'oiseau parcourue par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	46
Figure 47 : Impact du biais du répondant pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	46
Figure 48 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne mobile par jour	47
Figure 49 : Comparaison du nombre de déplacements motif travail par personne par jour qui se déplace pour travail dans la GRM selon l'enquête OD 2008	47
Figure 50: Impact du biais du répondant pour le nombre de déplacements motif travail par personne par jour qui se déplace pour travail dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	48
Figure 51 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacement motif travail par jour effectué par personne ayant effectuée au moins un déplacement travail par jour.....	48
Figure 52 : Comparaison de la proportion des personnes faisant au moins un déplacement motif autre par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008.....	49
Figure 53 : Impact du biais du répondant pour la proportion des personnes faisant au moins un déplacement motif autre par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008	49
Figure 54: Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la proportion des personnes faisant au moins un déplacement motif autre par jour.....	50
Figure 55 : Illustration des régressions linéaires pour un modèle à une variable explicative.....	56
Figure 56 : Schéma représentant la première décomposition du modèle Oaxaca-Blinder	57
Figure 57 : Schéma représentant la deuxième décomposition du modèle Oaxaca-Blinder.....	57
Figure 58 : Exemple détaillé du modèle Oaxaca pour le nombre de déplacements par personne.....	58
Figure 59 : Exemple de la méthodologie utilisée afin de déterminer les périodes où une personne est joignable.	61
Figure 60 : Cadre méthodologique de la méthode ASIF	113
Figure 61: Facteurs ayant une incidence sur les émissions	115
Figure 62 : Distribution de l'âge des véhicules.....	116
Figure 63 : Distribution temporelle de la température moyenne.....	116
Figure 64 : Distribution temporelle de la vitesse	116
Figure 65: L'impact de la température lors de départs à chaud et à froid	117
Figure 66: Impact global de la température sur les émissions de CO2	117

Figure 67: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les autoroutes rurales	119
Figure 68: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les routes rurales	119
Figure 69: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les autoroutes urbaines	120
Figure 70: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les routes urbaines	120
Figure 71: Effet de la réduction de la vitesse moyenne sur la quantité de CO ₂ émise lors d'un démarrage à froid et d'une utilisation à chaud	121
Figure 72: Distribution de l'âge moyen des véhicules	122
Figure 73: Effet de la modification de l'âge moyen des véhicules sur les démarrages à froid et sur l'utilisation à chaud d'un véhicule	122
Figure 74 : Effet global de la modification de l'âge moyen de la flotte de véhicule sur les émissions de CO ₂	123
Figure 75 : Concept de corridor de transport	125
Figure 76 : Linéarité dans l'identification des corridors	126
Figure 77 : Approches d'identification des corridors à partir des lignes de désir	127
Figure 78 : Nature dynamique des corridors de demande	128
L'application de TraClus permet d'identifier un corridor qui passe par le pont Viau. Alors idéalement, les trajets individuels devraient passer aussi par le même pont si la connexité et la qualité de réseau le permettent. L'utilisation de l'outil <i>Calculateur de chemin</i> (développé par la Chaire Mobilité) permet de constater qu'environ 30% des trajets vont passer par le pont Viau et la majorité passeront par le pont A15, voir Figure 79.	129
Figure 80 : le concept de corridor pour diagnostiquer la qualité de réseau routier	129
Figure 81 : Schéma méthodologique	133
Figure 82 : Exemples d'analyse démographique longitudinale et transversale: Proportion d'auto-suffisants selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte	135
Figure 83 : Proportion d'auto-suffisants selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte: comparaison entre les Montréalais et les Sud-Riverains	136
Figure 84 : Coefficients APC estimés pour la proportion d'auto-suffisants	138
Figure 85 : Écart entre les proportions d'auto-suffisants observées et les proportions modélisées	138
Figure 86 : Coefficients APC estimés pour la proportion de non-mobiles	139
Figure 87 : Coefficients APC estimés pour le taux de mobilité quotidien	139
Figure 88 : Coefficients APC estimés pour le nombre moyen de chaînes de déplacements quotidiennes	140
Figure 89 : Coefficients APC estimés pour la part modale tc des déplacements pour le travail	140
Figure 90 : Coefficients APC estimés pour la part modale auto des déplacements pour les études	141
Figure 91 : Coefficients APC estimés pour le taux de mobilité quotidien, selon le segment de population sur lequel le modèle est appliqué	142
Figure 92 : Répartition modale des chaînes en fonction du motif principal	150
Figure 93 : Répartition modale des chaînes selon le nombre d'activités	151
Figure 94 : Répartition modale des chaînes en fonction du nombre de chaînes	152
Figure 95 : Répartition des motifs des chaînes en fonction de leur séquence au sein du système d'activité	153
Figure 96. Répartition modale des chaînes selon leur distance totale	153
Figure 97 : Répartition modale des chaînes selon leur durée totale	154
Figure 98 : Répartition modale des chaînes selon le type, toutes chaînes confondues (Enquête OD 08)	155
Figure 99 : Catégories des modes de transport	156
Figure 100 : Chaîne complexe mono-boucle avec 2 activités	157
Figure 101 : Chaîne complexe mono-boucle avec 2 activités et un point d'ancrage intermédiaire	158
Figure 102 : Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements	162
Figure 103 : Panneaux de stationnement de la ville de Montréal	163
Figure 104 : Détermination des capacités de stationnement sur rue	164
Figure 105 : Exemple de visualisation de l'outil de capacité de stationnement sur rue	165
Figure 106 : Capacités de stationnement sur rue gratuit	166
Figure 107 : Capacités de stationnement sur rue réservé aux résidents (vignettes)	167
Figure 108 : PAV par type de stationnement dans l'arrondissement du Plateau Mont-Royal (PMR)	167
Figure 109 : PAV par motif de déplacement dans l'arrondissement du Plateau-Mont-Royal (PMR)	168
Figure 110 : Système d'information intégrant les données de capacités sur rue et les données sur d'utilisation de l'enquête OD	169
Figure 111 : Comparaison entre les capacités réelles et théoriques - stationnement sur rue gratuit	170
Figure 112 : Nombre moyen d'espaces de stationnement sur rue gratuit à moins de 400 mètres du lieu de domicile	171

Figure 113 : Nombre moyen d'espaces de stationnement réservé aux résidents à moins de 400 mètres du lieu de domicile	171
Figure 114 : Étude de cas : impact de l'application d'interdiction de stationnement à moins de 5 mètres d'un rayon d'intersection	172
Figure 115 : Place de la vulnérabilité dans le développement durable	175
Figure 116 : Illustration de l'enjeu	177
Figure 117 : Schéma des activités	178
Figure 118 : Calcul de vulnérabilité envisagé	179
Figure 119 : Méthodologie générale	181
Figure 120 : Nombre de véhicules nécessaires pour transporter 30 personnes	188
Figure 121 : Répartition des déplacements selon le motif - Source: Portrait du covoiturage à Montréal de Louiselle Sioui (2007)	190
Figure 122 : Catégorie de lieu de travail, industrie - Système de classification des industries de l'Amérique du Nord de 2002 et travail pour la population active occupée de 15 ans et plus, ayant un lieu habituel de travail ou travaillant à la maison – Recensement de 2006 – Données échantillon 20%	192
Figure 123 : Catégorie de lieu de travail et profession - Classification nationale des professions pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail ou travaillant à la maison, pour Montréal – Recensement de 2006 – Données échantillon 20%.....	192
Figure 124 : Tranches de revenu pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %).....	193
Figure 125 : Pyramide des âges de la population active âgée de 15 ans ou plus de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%.....	194
Figure 126 : Mode de transport pour la population active occupée de 15 ans et plus, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)	195
Figure 127 : Mode utilisé pour les navettages Domicile-travail pour la population active âgée de 15 ans et plus - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%	195
Figure 128 : Lieu de travail pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu de travail habituel ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %).....	196
Figure 129 : Type d'emploi pour la population active occupée de 15 ans et plus, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %).....	196
Figure 130 : Langue parlée à la maison pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu de travail habituel ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)	197
Figure 131 : Plus haut grade, certificat ou diplôme pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu de travail habituel ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %).....	197
Figure 132: Densité de population selon la municipalité de résidence – Recensement 2006 – Données échantillon 20%	198
Figure 133 : Lieu de travail des habitants de Montréal.....	199
Figure 134: Lieu de travail des travailleurs qui habitent à Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%	199
Figure 135 : Lieu d'habitations des travailleurs de Montréal	200
Figure 136: Lieu d'habitation des travailleurs de Montréal qui résident hors de la municipalité de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%	201
Figure 137 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les trois municipalités comportant le plus grand nombre de travailleurs en direction de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%	202
Figure 138 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les municipalités ayant plus de 1800 travailleurs en direction de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%.....	202
Figure 139 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les trois municipalités les plus visités par les travailleurs en provenance de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%.....	203
Figure 140 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les municipalités ayant plus de 1800 travailleurs en provenance de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%.....	203
Figure 141 : Distances de déplacements pour la population âgée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail, chiffres de 2006, Montréal - Données-échantillon (20 %).....	204
Figure 142 : Durée des déplacements selon le mode de transport utilisé - Recensement 2006 - Données échantillon 20%	205
Figure 143 : Horaires de départ pour les navettages domicile-travail de Montréal – Recensement de 2006 – Données échantillon 20%	206



Figure 144 : Aperçu schématique de l'outil et degré d'avancement des modules	211
Figure 145 Tableau de bord • Suivi des entrevues	213
Figure 146 : Tableau de bord • Liste des entrevues problématiques et sommaire des déplacements d'un ménage	214
Figure 147 : Tableau de bord • Entrevues ménages	215
Figure 148 : Tableau de bord • Entrevues personnes	216
Figure 149 : Graphique dynamique.....	217

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre de répondants directs et indirects dans les enquêtes de 1987 à 2008	14
Tableau 2 : Synthèse des indicateurs pour la GRM de l'enquête OD 2008.	52
Tableau 3 : Synthèse des indicateurs pour la GRM de l'enquête OD 2003.	53
Tableau 4 : Synthèse des indicateurs pour la GRM de l'enquête OD 1998.	54
Tableau 5 : Résultats de la méthode de décomposition des effets pour des indicateurs de l'OD 2008.....	59
Tableau 6 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête. 62	
Tableau 7 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pour les travailleurs temps plein pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête.....	62
Tableau 8 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pour les retraités pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête.....	62
Tableau 9 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pour les étudiants pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête.....	63
Tableau 10. Indicateurs proposés (D pour lien direct, 0 à 2 pour le niveau du lien indirect d'après le Cercle de causalité)	70
Tableau 11 : Zones et intensité de service des réseaux de transport	82
Tableau 12 : Types de coûts liés au déplacement (TC = transport collectif)	95
Tableau 13 : Synthèse de l'applicabilité des indicateurs proposés (modes, approches, désagrégation nécessaire).....	106
Tableau 14 : Indicateurs traditionnels de mobilité impliqués dans l'estimation des indicateurs proposés	108
Tableau 15: Définition des classes de vitesses dans MOVES.....	118
Tableau 16: Moyenne journalière de la vitesse dans différents cas	120
Tableau 17 Coefficients estimés pour la proportion d'auto-suffisants	137
Tableau 18 : Paramètres des fonctions d'utilité pour les alternatives modales.....	149
Tableau 19 : Les 5 types de chaînes de déplacements les plus fréquents (Enquête OD 08)	157
Tableau 20 : Exemple de codification d'un type de panneau de stationnement	163
Tableau 21 : Type de clientèle concernée par le panneau	164
Tableau 22 : Échéancier détaillé des activités de recherche.....	179
Tableau 23 : Échéancier de réalisation.....	206

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'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'informations et d'outils au niveau métropolitain.
- Former des spécialistes et du personnel hautement qualifié et participer à la formation continue des employés des organismes partenaires.
- Structurer et assurer le développement à long terme d'un pôle multidisciplinaire de recherche et de formation avancée en planification et modélisation des transports urbains à Montréal.

1.3 Structure générale de la Chaire

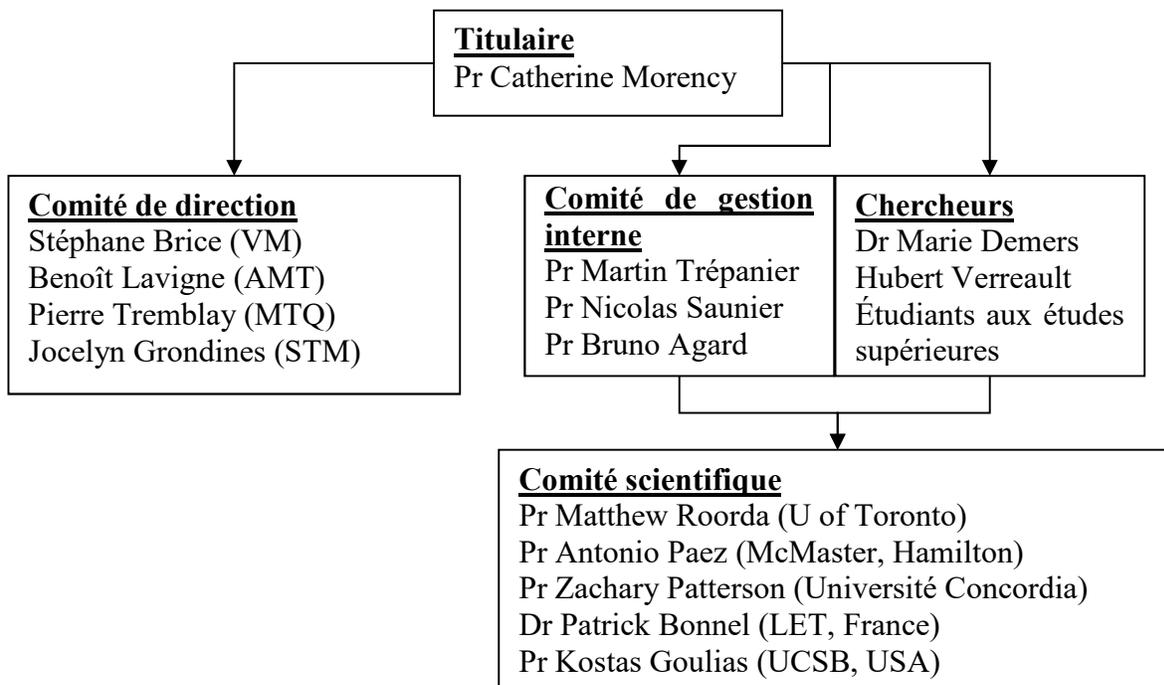
1.3.1 Partenaires

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

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

1.3.2 Structure organisationnelle

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



- Le **comité de direction** assure le suivi des travaux de la Chaire. Ce comité a le mandat d'appuyer le titulaire dans l'administration de la Chaire et l'orientation de ses activités. Il approuve le programme annuel de recherche et sa budgétisation, ainsi que le rapport annuel d'activité avec son bilan financier. Le comité se réunit deux fois par année. Des représentants de chacun des contributeurs financiers sont nommés par leur organisme pour y siéger. Les représentants actuels sont :
 - Ville de Montréal: Stéphane Brice
 - Agence métropolitaine de transport: 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 recherche :
 - **Marie Demers** est docteure en épidémiologie. En 2006, elle a publié "Walk for your life!", un livre dans lequel elle propose une revue de la littérature scientifique sur les liens entre la mobilité active, les formes urbaines et l'obésité et qui témoigne de sa compréhension étendue du sujet. En 2008, elle a été impliquée dans la préparation d'une analyse visant à documenter les contributions des réseaux de transport en commun québécois au développement durable, pour l'Association du transport urbain du Québec (ATUQ). En 2010, elle a produit une série de feuillets de recherche sur le rôle de l'environnement bâti sur le niveau d'activité physique des jeunes pour Québec en forme. Elle est impliquée dans de multiples autres projets liés au transport (Vision 2030 des transports pour le Québec, Avis sur l'innovation dans la chaîne logistique des marchandises, etc.)
 - **Hubert Verreault**, est ingénieur civil, diplômé de Polytechnique et détenteur d'une maîtrise en transport de l'École Polytechnique de Montréal. Entre 2008 et 2010, il a été analyste en transport à l'Agence métropolitaine de transport, notamment impliqué dans la réalisation, le traitement et l'analyse de différentes enquêtes sur la mobilité des personnes. Il est chargé de cours à Polytechnique et contribue à la majorité des projets de recherche de la Chaire.

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

1.4 Contenu du rapport

Ce document fait état du travail réalisé dans la quatrième année du mandat de la Chaire. Plusieurs étudiants ont maintenant finalisé leur projet de recherche (maîtrise) et les mémoires, 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 une analyse du biais du répondant. Le Chapitre 3 présente l'état d'avancement des différentes thématiques de recherche abordées par les étudiants. Finalement, le Chapitre 4 présente l'avancement du développement d'un outil intégré de collecte, analyse et visualisation de données de mobilité. Il est à noter que le rapport financier sera rendu disponible dans un document séparé.

1.5 Cadre général de recherche

La démarche de recherche de la Chaire vise à contribuer à la mise en œuvre de la durabilité en transport; le schéma qui suit (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, le cadre de recherche assure la cohérence des recherches réalisées et leur capacité à alimenter une réflexion plus globale sur la mobilité durable.

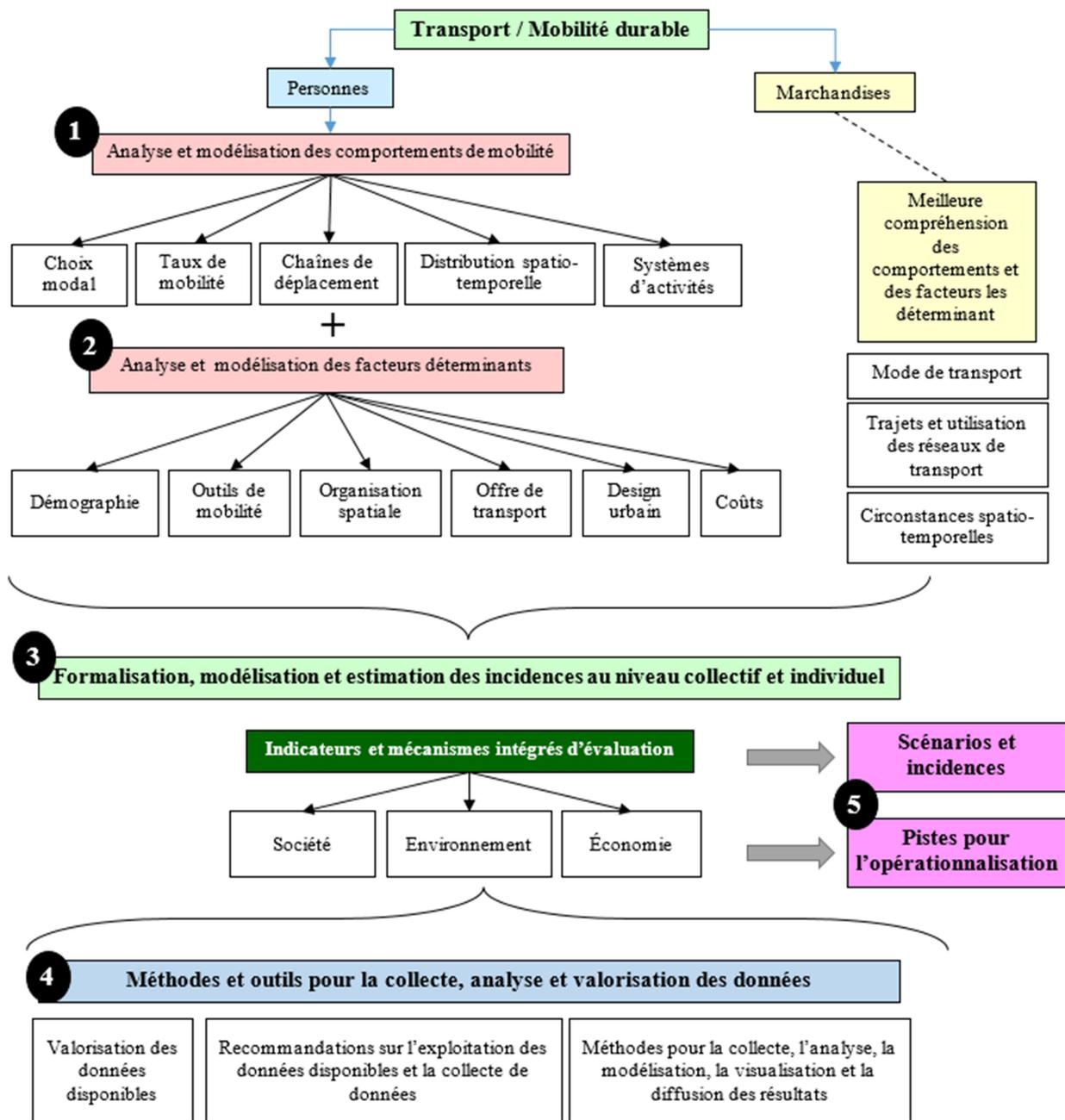


Figure 1. Schéma illustrant le cadre conceptuel du programme de recherche de la Chaire Mobilité

1.6 Formation de personnel hautement qualifié

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

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). Ce mémoire est confidentiel en raison du contenu sensible sur Bixi.

1.7 Équipe de recherche actuelle et thématiques de recherche

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

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

- **Louiselle Sioui** (doctorat, début : septembre 2009, soutenance en août 2014) : Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils. Direction : Pre Catherine Morency.

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

- **Pegah Nouri** (doctorat, début : janvier 2011, fin prévue : 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 prévue : décembre 2015) : 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 effectue son doctorat à Polytechnique de Montréal, il s'intéresse aux corridors de déplacements et aux méthodes d'évaluation d'impacts appliquées aux projets de transport.

- **Farhana Yasmin** (doctorat, début : mai 2010, fin prévue : décembre 2015). 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. Elle a été chargée de cours pendant deux ans au même département de BUET. Elle est actuellement doctorante en génie civil à l'École Polytechnique de Montréal sous la codirection des professeurs Catherine Morency et Matthew J. Roorda (Université de Toronto). Ses recherches portent sur l'analyse des comportements de mobilité, spécifiquement les modèles d'activités et la façon dont ils peuvent contribuer à l'amélioration des méthodes de prévision de la demande au Québec. 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 2016). Application de méthodes de classification pour mieux comprendre et modéliser les comportements de choix des itinéraires routiers. Direction : Pr Nicolas Saunier et Pre Catherine Morency.

Hamzeh Alizadeh détient un baccalauréat en génie civil de l'Imam Khomeini International University, Ghazvin, Iran. Il a ensuite fait une 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 et Catherine Morency. Ses activités de recherche sont en partie effectuées dans le cadre du mandat de recherche de la Chaire.

- **Catherine Plouffe**. (maîtrise, début : septembre 2011, présentation en août 2014) : Application d'un modèle âge-période-cohorte-caractéristiques à la prévision de la demande de transport à Montréal. Direction : Pre Catherine Morency.

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

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

- **Gabriel Sicotte**. (maîtrise, début : septembre 2012, fin prévue : décembre 2014) : Chaînes de déplacement et choix modal, Direction : Pre Catherine Morency et Pr Bilal Farooq.

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

- **Jean-Simon Bourdeau** (maîtrise, début : janvier 2013, présentation orale en août 2014) : Système d'information sur les stationnements en milieu urbain. Direction : Pr Nicolas Saunier et Pre Catherine Morency.

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

- **Alexis Frappier** (maîtrise, fin prévue : août 2015) : Méthode d'évaluation de la diversité et de la qualité des alternatives de déplacement. Direction : Pr Catherine Morency et Pr Martin Trépanier.

Alexis Frappier effectue un Double Diplôme avec une école d'ingénieur généraliste en France, l'École Centrale Marseille, dans laquelle il est entré en septembre 2011. 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). Sa maîtrise à l'École Polytechnique Montréal (ÉPM) a commencé depuis janvier 2014, sous la direction de Pr. Catherine Morency. Son projet porte sur le développement d'un indicateur permettant de mesurer la qualité et la diversité des alternatives de déplacement offertes aux usagers. Il complète son cursus par des cours liés à la mobilité à l'Institut d'Urbanisme de Montréal.

- **Oussama Saoudi Hassani** (maîtrise, fin prévue : août 2015) : Mobilité des travailleurs et scénarios de gestion de la demande de déplacements faits en automobile. Direction : Pr Catherine Morency et Pr Nicolas Saunier.

Oussama Saoudi Hassani est étudiant en double-diplôme à l'École Polytechnique de Montréal (ÉPM), en partenariat avec l'École Spéciale des Travaux Publics de Paris (ESTP Paris, France). Il a intégré cette école d'ingénieurs en automne 2011, après deux ans de classes préparatoires en Mathématiques Supérieures et Spéciales (MP).

Étudiant à la maîtrise sous la direction du professeur Catherine Morency depuis l'hiver 2014, son sujet de recherche porte sur la mobilité des travailleurs et les scénarios de gestion de la demande de déplacements faits en automobile.

L'état d'avancement de ces différentes thématiques sera présenté au chapitre 3.

2 Le biais du répondant

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

2.1 Définition d'un biais

À partir du moment où un sondage est effectué, des biais peuvent apparaître et affecter les résultats. Plusieurs types de biais existent et peuvent survenir à différentes phases avant, pendant et après la collecte de données. En statistique, un biais est une démarche ou une méthodologie qui engendre des erreurs dans les résultats d'une étude. Cependant, le terme biais est souvent utilisé afin de désigner les erreurs découlant de ce processus. Le biais n'est donc pas lié à la quantité d'observations amassées ou à la variabilité du résultat mais, plutôt à la façon dont la collecte de données et les traitements sont effectués. Chaque méthode utilisée ou décision technique prise peut donc engendrer un biais dans l'estimation d'une mesure. Le biais peut aussi avoir une influence variable en fonction de l'indicateur étudié, d'où la nécessité d'étudier plusieurs indicateurs afin de bien cerner l'impact d'un biais.

Il y a une différence majeure entre l'exactitude et la précision d'une mesure. La précision d'un calcul révèle le niveau de risque d'erreur de l'estimation. Elle est fonction de la variabilité de l'indicateur estimé et du nombre d'observations disponibles. L'exactitude d'une estimation représente la différence entre l'estimation et la valeur véritable de l'indicateur, une estimation exacte étant très près de la valeur de l'indicateur. L'exactitude est beaucoup plus difficile à évaluer que la précision. L'ensemble des biais qui surviennent pendant une enquête peuvent affecter l'exactitude de la mesure. Un calcul peut donc être très précis mais biaisé.

2.2 Biais du répondant

2.2.1 Contexte

Les enquêtes Origine-Destination sont des enquêtes de type ménage. Une seule personne du ménage, qui sera nommée ici répondant, déclare l'ensemble de l'information demandée pour les autres personnes du ménage, nommé ici répondants indirects. Le répondant qui déclare directement ses déplacements est nommé répondant direct. L'hypothèse sur laquelle repose ce biais est que les répondants connaissent aussi bien les informations demandées sur leurs déplacements que celles demandées pour les autres personnes de leur ménage.

Dans la littérature, le biais du répondant est documenté largement; deux branches distinctes sont étudiées. La première correspond à l'effet engendré par l'utilisation d'un proxy sur la non-

réponse et sur la productivité. La deuxième branche correspond à l'analyse de la qualité des résultats obtenus grâce à cette méthode. Dans le cas de cette note technique, le deuxième aspect sera approfondi. La qualité des données recueillies par proxy est souvent prise pour acquise lors de l'utilisation des données. Cependant, la plupart des chercheurs et professionnels comprennent les limitations de ce type de collecte. Liss (2005) cible particulièrement le biais du répondant comme élément à maîtriser afin d'améliorer de la qualité des données dans les enquêtes ménage. L'utilisation d'un proxy est néanmoins grandement utilisée dans les enquêtes transports téléphoniques car elles permettent de réduire les coûts de la collecte de données en plus d'augmenter la productivité. De plus, l'utilisation d'un proxy est souvent recommandée afin de réduire les problèmes de non-réponse. Elles permettent aussi de rejoindre plus facilement des personnes qui ne répondraient pas à l'enquête ou qui seraient plus difficiles à rejoindre pendant les heures d'ouverture du plancher d'enquête. (Stopher et al., 2003)

Plusieurs études soulèvent l'effet de l'utilisation du proxy sur les estimations. Un biais souvent soulevé est la présence de taux de mobilité plus élevés pour les répondants directs comparativement aux répondants indirects. Cependant, d'autres indicateurs peuvent être affectés par ce type de biais.

Le FHWA (Federal Highway Administration) américain a constaté en étudiant le NPTS (National Personal Transportation Survey) de 1990 et 1995 que les répondants directs déclaraient 20% plus de déplacements et une distance totale parcourue 25% plus grandes que les répondants indirects (Zimowski et al., 1997). Liss (2005) discute aussi des taux de déplacements plus élevés des répondants directs comme un des éléments principaux à améliorer dans les prochaines enquêtes ménages basées sur le jour moyen de déplacement. Bose et Giesbrecht (2004) a aussi montré, en utilisant le NHTS 2001, que les taux de déplacements des répondants directs (4.5) étaient plus grands que ceux des répondants indirects (3.7). À Montréal, Chapleau (2003) a montré en 1998 que ces taux pour les répondants indirects étaient sous-estimés de 0.5 déplacements par personne par jour comparativement aux répondants directs.

Bien entendu, le biais du répondant ne s'applique pas uniformément à tous les types de déplacements. Les activités occasionnelles telles que le magasinage et le loisir sont plus susceptibles d'être affectés par ce biais que les activités effectuées pour le travail et l'étude. Giesbrecht (2005) a observé que les différences entre les taux de déplacements des répondants directs et des répondants indirects sont plus significatifs pour les déplacements non-basés sur le domicile. Badoe et Steuart (2002) ont aussi montré que le biais du répondant à Toronto était plus important pour les déplacements non-basés sur le domicile. Malgré que la plupart des études se concentrent sur la sous-estimation des taux de mobilité, d'autres indicateurs peuvent être étudiés tels que la non-mobilité et les distances parcourues (Richardson, 2005).

L'utilisation du biais du répondant peut avoir un effet différent selon les différents groupes sociodémographiques. Les groupes sociodémographiques où le pourcentage de répondants directs est le plus faible vont augmenter l'influence du biais du répondant, car il s'appliquerait à un plus grand nombre de répondants indirects. Il faut néanmoins que le biais du répondant existe initialement pour ces groupes. La plupart des études se concentrent sur l'identification des variables qui sont affectées par le biais du répondant. Cependant, peu d'entre elles s'intéressent à l'évolution de ce biais entre les enquêtes. On peut supposer en général qu'il devrait être en diminution car la taille moyenne des ménages est en diminution. D'autres facteurs peuvent néanmoins influencer aussi l'évolution telle que la diminution des taux de mobilité qui est observée à Montréal depuis plusieurs années.

Pour les données historiques, il est possible d'appliquer un certain ajustement au niveau agrégé afin de corriger les indicateurs. Cette méthode suppose cependant qu'il ne devrait pas avoir de différences significatives entre les comportements des répondants directs et des répondants indirects. Cela est une hypothèse qui est difficile à vérifier.

Stopher et al. (2003) ont soulevé que la correction du biais du répondant est une tâche complexe car elle doit s'appliquer à différents niveaux dépendamment du type de déplacement. Ils soulèvent aussi que la correction de ce biais pour des indicateurs est relativement simple, mais de le faire au niveau désagrégé est beaucoup plus complexe.

2.2.2 Objectifs

Bose et Giesbrecht (2004) ont divisé en trois questionnements principaux l'étude du biais du répondant.

- Est-ce que les répondants directs et les répondants indirects ont la même structure sociodémographique ?
- Est-ce que les principaux indicateurs de mobilité sont différents dans ces deux groupes ?
- Quels sont les facteurs sociodémographiques qui augmentent ou diminuent la probabilité d'être répondant direct ?

Ces trois questionnements seront abordés en partie dans cette note technique. Premièrement, les facteurs externes qui influencent l'évolution du biais du répondant, telles que la baisse de la taille des ménages et de la baisse naturelle des taux de mobilité, seront étudiés.

Ensuite, l'analyse portera sur les caractéristiques sociodémographiques des répondants directs comparativement aux répondants indirects. L'objectif est de comprendre qui répond à l'enquête à l'intérieur du ménage. Une cohorte qui répondrait moins souvent, donc comporterait beaucoup de répondants indirects, impliquerait un poids plus important au biais observé.

Par la suite, différents indicateurs de mobilité seront étudiés afin de faire ressortir les différences entre les échantillons de répondants directs et répondants indirects. L'impact du biais observé pour les indicateurs au niveau de la GRM sera aussi estimé.

2.2.3 Système d'information

Cette étude se base principalement sur les enquêtes Origine-Destination montréalaises de 1987 à 2008. Le territoire correspond à la Grande Région de Montréal (GRM) et le découpage est non comparable entre les enquêtes. L'évolution du territoire n'a peu d'effets sur les résultats car l'objectif de cette étude est de comparer les répondants directs et les répondants indirects pour une même enquête. Tel que mentionné, le territoire a augmenté avec les enquêtes et par le fait même, la population totale a augmenté. Le Tableau 1 présente le pourcentage de répondants directs pour chacune des enquêtes. Ce pourcentage est en augmentation depuis 1987.

Tableau 1 : Nombre de répondants directs et indirects dans les enquêtes de 1987 à 2008

Enquête	Répondants directs	Répondants indirects	% répondants directs
1987	53 177	84 188	38.7%
1993	61 988	98 526	38.6%
1998	65 227	98 848	39.8%
2003	58 000	81 527	41.6%
2008	66 124	90 596	42.2%

Dans le cas de cette étude, l'échantillon de l'enquête OD est divisé en deux ensembles distincts, qui peuvent être défini comme suit :

- Répondant direct : Personne du ménage qui a déclaré ses déplacements;
- Répondant indirect : Personne du ménage dont ses déplacements ont été déclarés par un proxy, c'est-à-dire un autre membre du ménage.

Il est aussi supposé que la déclaration des variables sociodémographiques, telles que l'âge, le genre ou le statut d'occupation, pour les répondants indirects, ne souffre pas du biais du répondant. Il est donc supposé que le répondant connaît parfaitement les attributs sociodémographiques des autres membres de son ménage.

Étude de la variable répondant dans l'enquête OD

L'enquête OD permet de connaître la personne à l'intérieur du ménage qui a répondu à l'aide de la variable « no_rep ». Cette variable représente le rang de la personne qui a déclaré les informations sur les déplacements des autres membres du ménage. La Figure 2 représente la classification des répondants directs et des répondants indirects selon l'enquête OD 2008.

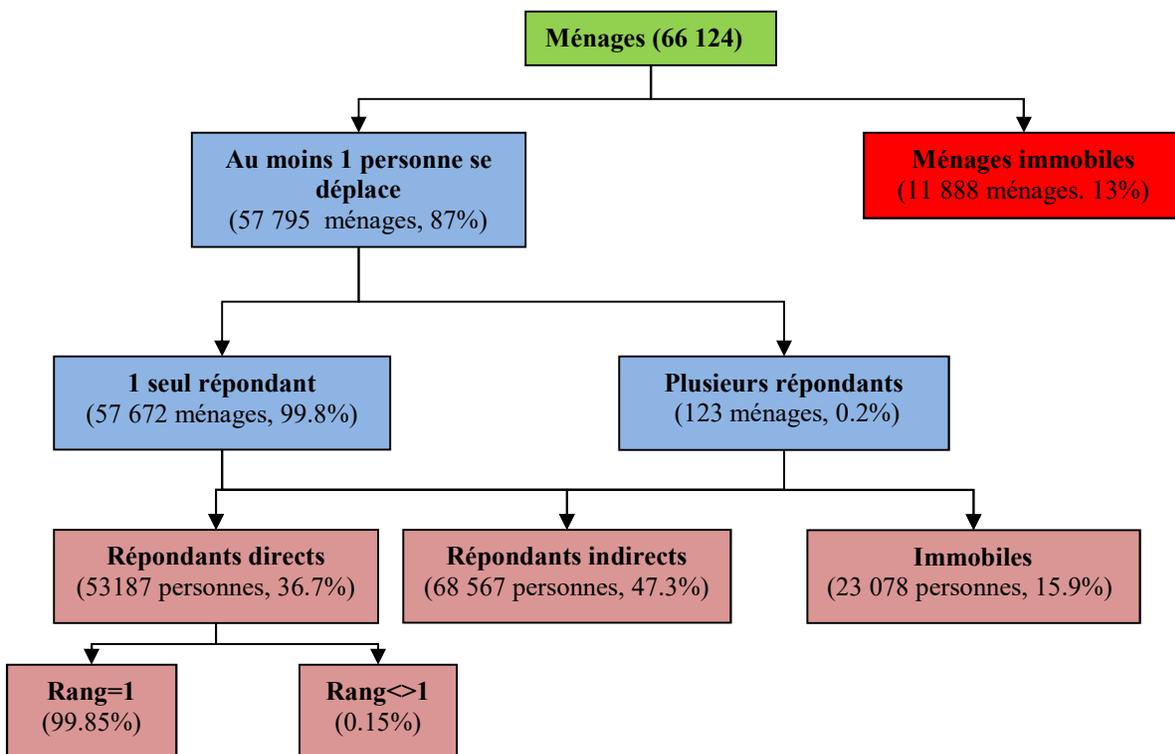


Figure 2 : Représentation schématique de la variable définissant le répondant (no_rep) de l'enquête OD 2008

Dans le cas où l'ensemble des membres du ménage sont immobiles, aucun répondant n'est spécifié. Il a donc été supposé que la personne qui a déclaré les informations sur le ménage ainsi que sur les membres du ménage est la première personne (Rang = 1). Cela correspond à 13% des ménages. Dans le cas où au moins une personne a effectué un déplacement dans le ménage, le répondant est identifié. Quelques ménages possèdent plus qu'un répondant. En théorie, il n'était pas permis de changer d'interlocuteur pendant le sondage. Il est donc difficile de conclure s'il y a vraiment plus qu'un répondant ou bien s'il s'agit d'erreurs qui se sont imbriquées dans les bases de données. Cependant, le nombre de cas étant très faible, l'impact est négligeable sur les résultats.

Pour les enquêtes OD 1987 et 1993, la variable identifiant le répondant n'était pas dans les fichiers disponibles. Dans ces cas, la première personne du ménage a été supposée comme répondant. Cela fût le cas pour 99.85% des individus qui ont répondu à l'enquête OD 2008.

2.2.4 Facteurs externes

Il existe des facteurs externes, non liés à la réalisation des entrevues, qui ont un effet sur l'évolution du biais du répondant. Les indicateurs présentés dans les figures suivantes ont été estimés à territoire non comparable. La Figure 3 présente l'évolution de la taille moyenne du ménage. Cet indicateur est en baisse continue depuis 1987. Il a diminué de 0.18 personnes par ménage de 1987 à 2008, soit une baisse de 7 %. Plus la taille du ménage est petite, plus le nombre de répondants directs est élevé par rapport aux répondants indirects. Cette baisse de la taille du ménage a donc comme effet de diminuer le nombre de répondants indirects et par le fait même, de diminuer l'influence du biais du répondant.

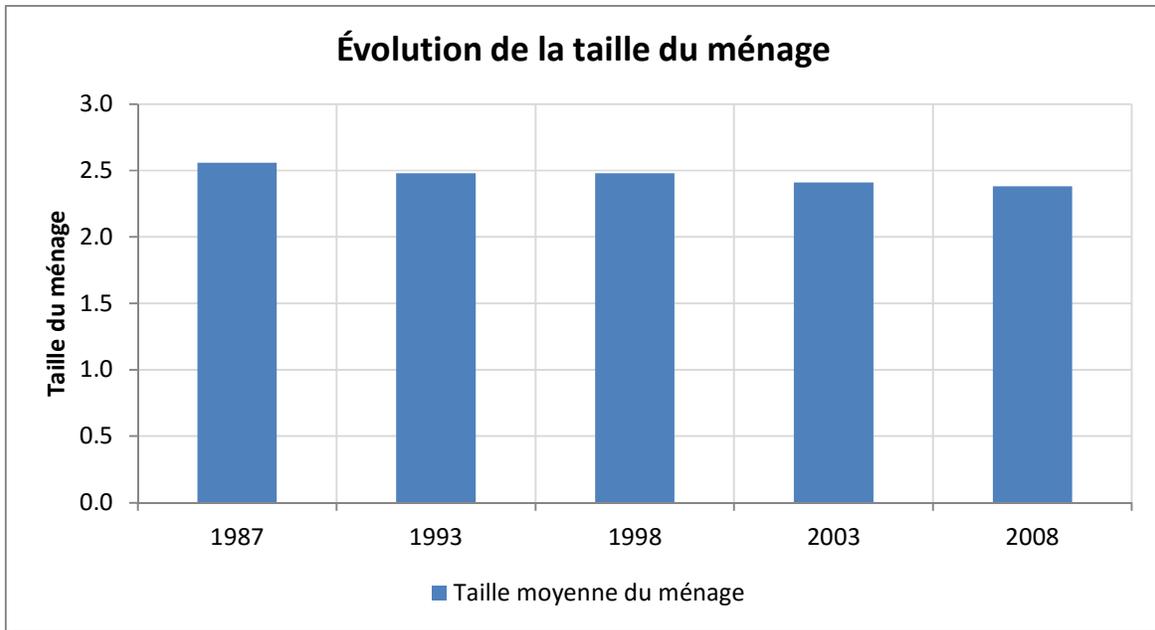


Figure 3 : Évolution de la taille moyenne du ménage dans la GRM de 1987 à 2008 (territoire comparable 1987).

La Figure 4 présente l'évolution de la proportion de répondants directs par rapport à l'échantillon global. Chez les hommes, il y a une hausse globale depuis 1987. Il y a cependant une légère baisse qui est observée en 2008 par rapport à 2003. Chez les femmes, une hausse est observée depuis 1987. Un certain décalage est aussi observé chez les 15 à 24 ans pour les hommes et les femmes. Cela pourrait être expliqué par le fait que les jeunes adultes restent de plus en plus tard chez leurs parents, ce qui diminue leur probabilité d'être le répondant pour leur ménage car la taille de leur ménage est plus grande. Plus cette proportion est élevée, plus le nombre de répondants directs est élevé et donc, réduit davantage l'importance du biais du répondant.

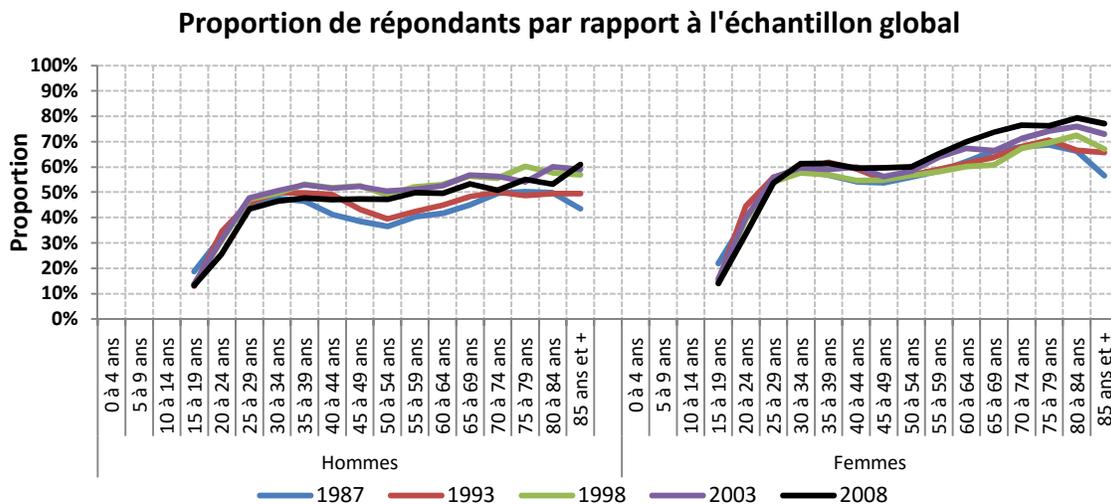


Figure 4 : Évolution de la proportion de répondants par rapport à l'échantillon global

Le nombre de déplacements déclaré par personne est un autre facteur pouvant influencer l'ampleur du biais du répondant. En effet, plus le nombre de déplacements effectué est élevé, plus la probabilité est grande pour le répondant d'oublier ou de ne pas déclarer certains déplacements des répondants indirects. Depuis 1987 dans la région de Montréal, une baisse naturelle des taux de mobilité est plutôt observée. Ceci signifie que le biais du répondant perdrait de l'importance entre les enquêtes.

Afin d'écarter l'évolution du biais du répondant dans cette baisse observée des taux de mobilité, les figures suivantes présentent l'évolution de certains indicateurs pour les répondants directs seulement. On suppose néanmoins que le biais de sous-déclaration de déplacements ainsi que les autres biais existants chez le répondant direct n'ont aucun effet ou sont stables depuis 1987.

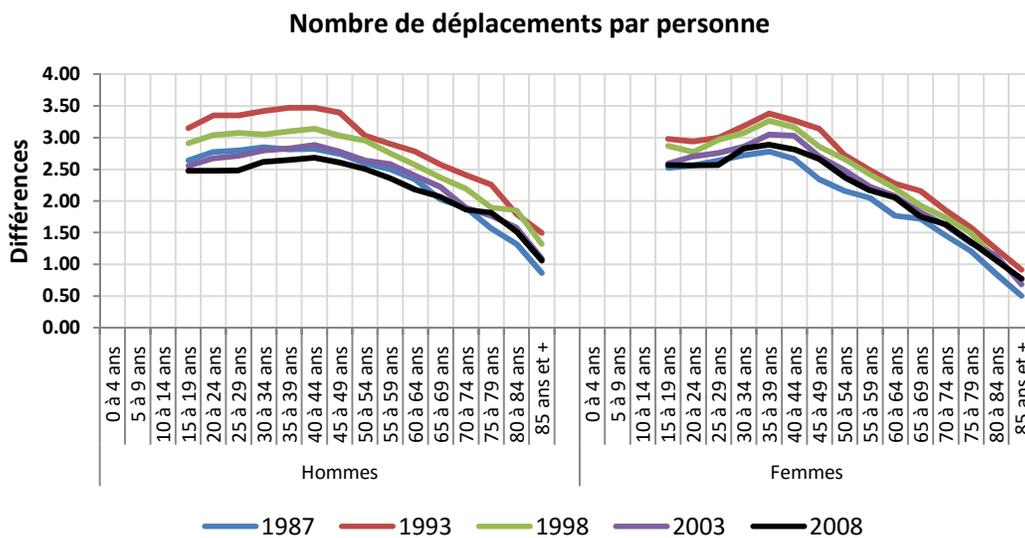


Figure 5 : Évolution du nombre de déplacements par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD

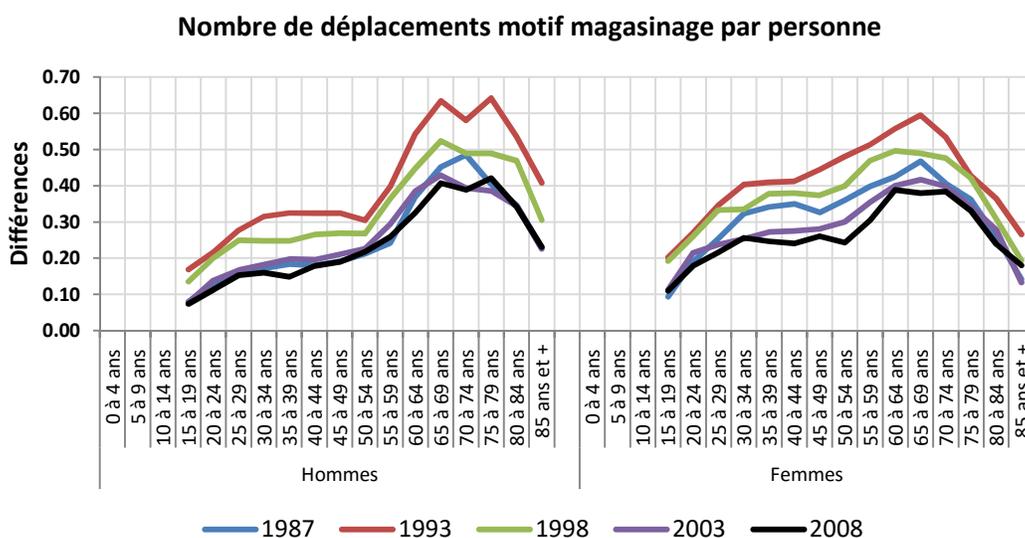


Figure 6 : Évolution du nombre de déplacements motif magasinage par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD

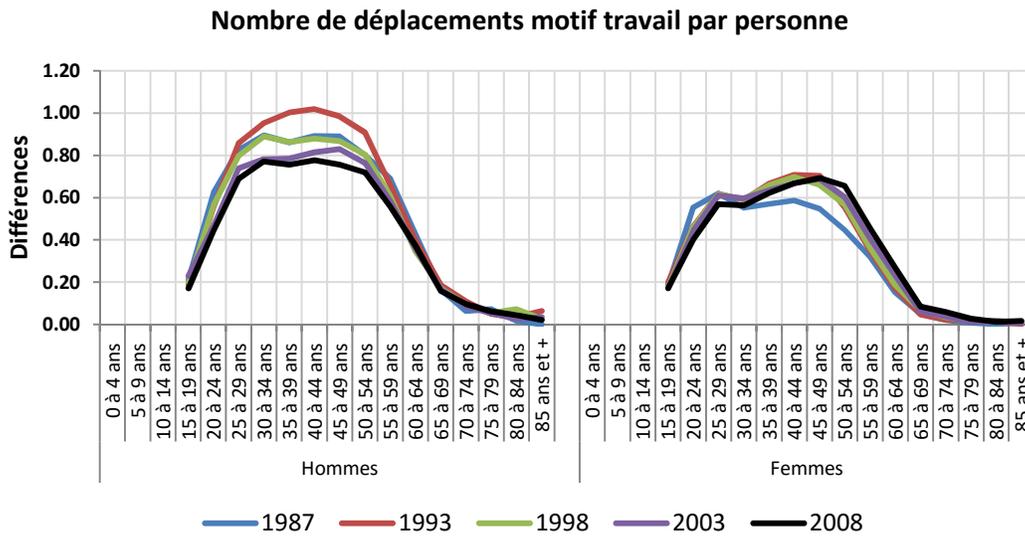


Figure 7 : Évolution du nombre de déplacements motif travail par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD

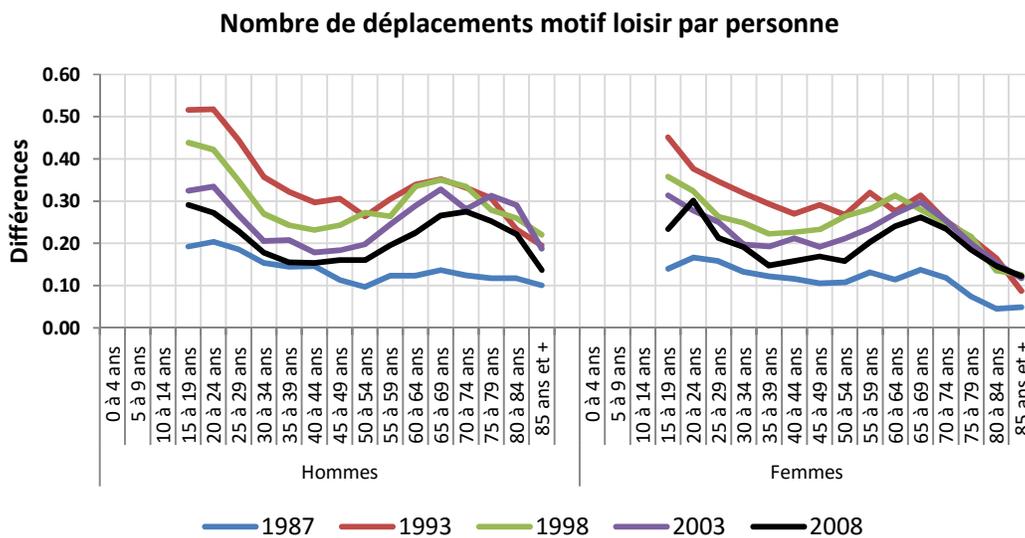


Figure 8 : Évolution du nombre de déplacements motif loisir par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD

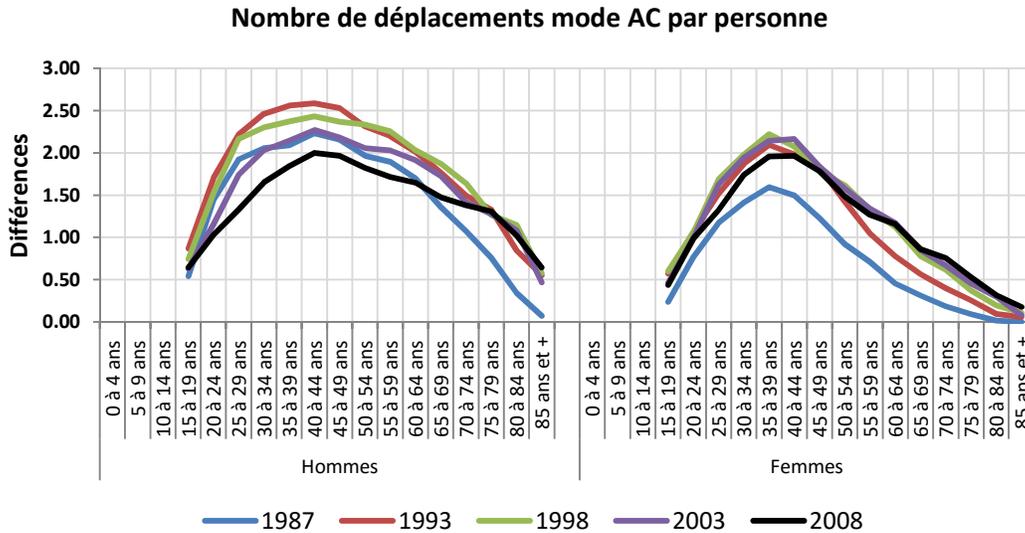


Figure 9 : Évolution du nombre de déplacements Auto-conducteur par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD

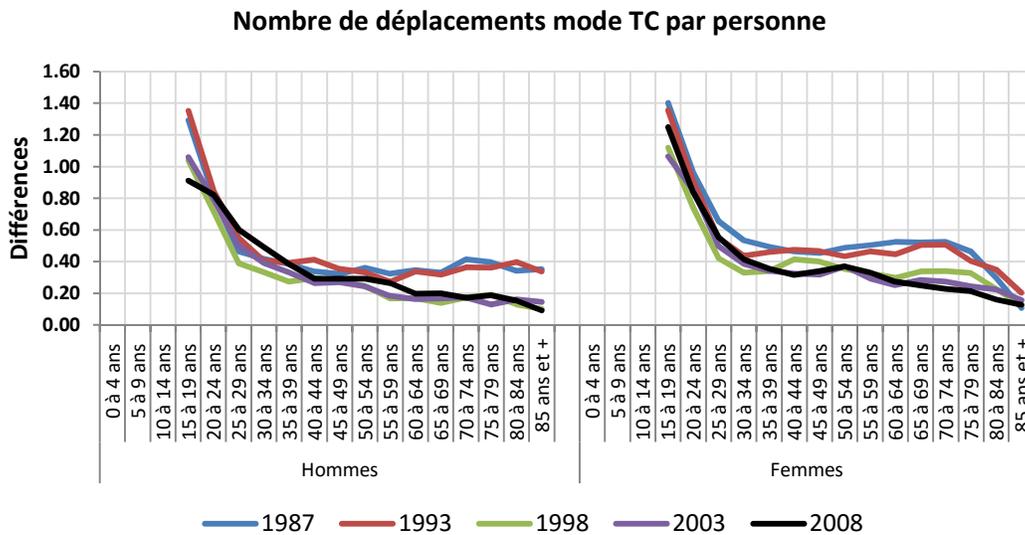


Figure 10 : Évolution du nombre de déplacements Transport en commun par personne de 1987 à 2008 chez les répondants directs à l'enquête OD

Les figures précédentes montrent que les taux de déplacements sont généralement en baisse pour les répondants directs par rapport à 1993. Cependant, la Figure 7 montre une certaine hausse du nombre de déplacements travail par personne chez les femmes expliquée par la part grandissante des femmes dans le marché du travail. Cette baisse naturelle des taux de mobilité, observée dans la majorité des figures, permet de supposer que le biais du répondant devrait évoluer à la baisse au travers de ces enquêtes. Les constats soulevés dans cette section sont positifs car ils laissent penser que le biais du répondant perdrait de son importance à travers le temps. Cela amène à se questionner sur la comparabilité historique des enquêtes en regard de ce biais. Par ailleurs, la comparabilité entre enquête est aussi mise à l'épreuve par l'évolution de la représentativité de la base de sondage ainsi que de l'évolution du territoire d'enquête. À ce sujet, deux écoles

s'affrontent : d'un côté, limiter les comparaisons à des territoires comparables implique qu'une part non-négligeable de la population est exclue, population souvent fortement dépendante de l'automobile et utilisant les infrastructures métropolitaines (ce qui a notamment justifié leur inclusion dans le territoire d'enquête). De l'autre côté, utiliser des territoires non-comparables pour les analyses tendanciennes implique que les constats tirés sont aussi liés à l'évolution du territoire et aux attributs différents des territoires supplémentaires. Identifier les facteurs explicatifs des tendances est donc plus difficile. Il est à souligner que les figures précédentes comparent les différentes enquêtes pour un territoire non-comparable.

2.2.5 Caractéristiques sociodémographiques des répondants directs

La comparaison d'indicateurs de mobilité pour une même cohorte et genre demande préalablement de vérifier si les échantillons des répondants directs et des répondants indirects ont les mêmes propriétés sociodémographiques. Il est à noter que les ménages à une personne, dont le répondant est automatiquement répondant direct, sont inclus dans les analyses suivantes. La prise en compte de l'âge et du genre permet néanmoins d'assurer des comparaisons pertinentes. La Figure 11 présente la distribution des répondants directs pour l'enquête OD 2008.

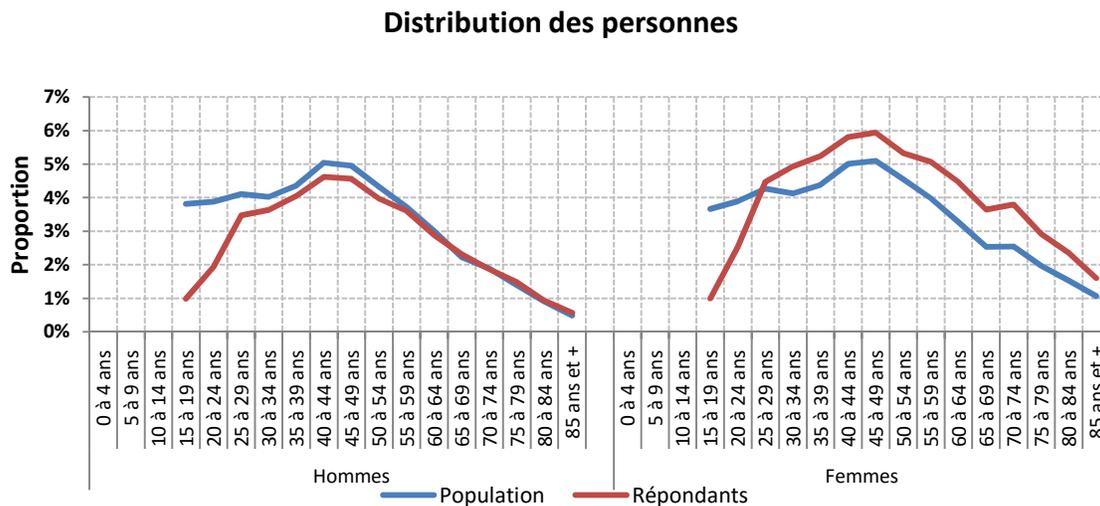


Figure 11 : Distribution des personnes et des répondants selon la cohorte et le genre (od 2008)

Les femmes répondent davantage pour les autres membres de leur ménage que les hommes. Les personnes de 16 à 25 ans sont davantage répondants indirects. Le biais du répondant a donc plus d'importance pour ces cohortes car il s'applique à davantage de personnes. Il est à souligner que le nombre de ménages à une personne pour les personnes âgées est élevé et sont souvent composés d'une femme. Dans ces cas, la femme est automatiquement la répondante de son ménage. Cela explique en partie les écarts observés chez les femmes âgées entre la distribution des répondants et de la population. La Figure 12 présente la proportion de travailleurs temps plein chez les répondants directs et indirects.

Proportion des travailleurs temps plein

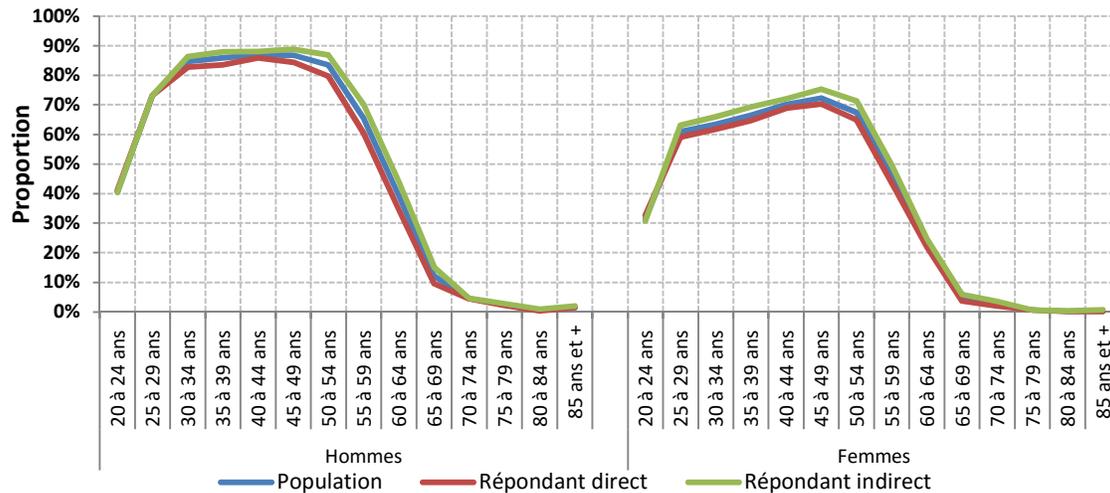


Figure 12 : Proportion des personnes de 15 ans et plus qui sont travailleurs temps plein pour la population globale, les répondants directs et les répondants indirects (OD 2008)

En général, la proportion de travailleurs temps plein est plus forte chez les répondants indirects que chez les répondants directs. Cela peut être expliqué par la présence plus limitée au domicile pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête pour les travailleurs temps plein. Cet élément sera approfondi à la section 2.3. Le fait d'être travailleur temps plein ou non peut bien entendu engendrer des différences au niveau des comportements de mobilité. Cette variable peut donc être segmentée dans les analyses.

La Figure 13 illustre la proportion des étudiants dans la population et chez les répondants directs et indirects.

Proportion des étudiants

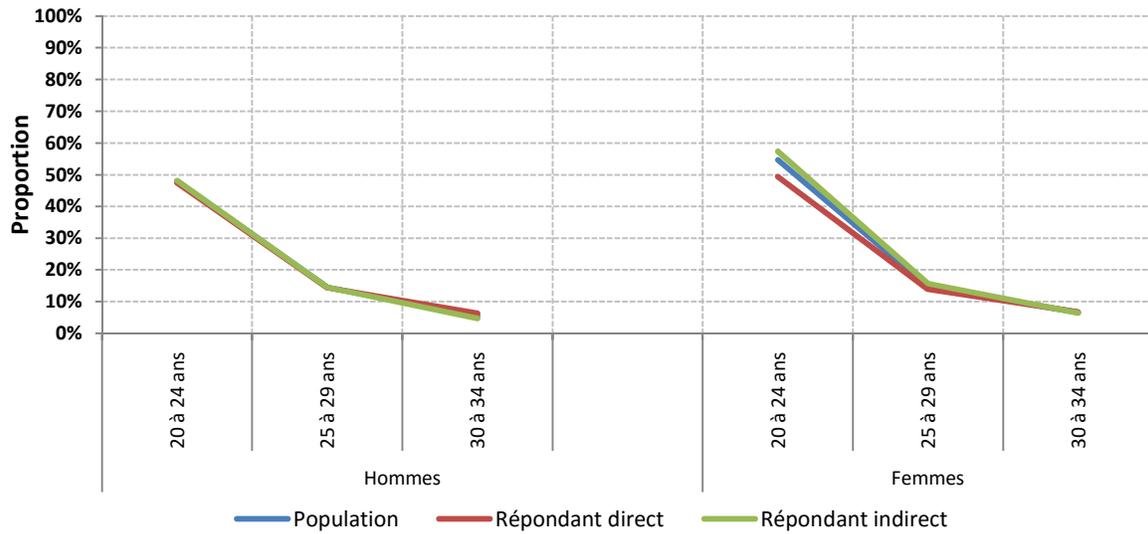


Figure 13 : Proportion des personnes de 20 ans et plus qui sont étudiants temps plein pour la population globale, les répondants directs et les répondants indirects (OD 2008)

Chez les hommes, très peu de différences sont observées entre les trois classes. Chez les femmes, un écart est observé chez les 20 à 24 ans, les répondants indirects étant en plus forte proportion des étudiants comparativement au reste de la population. Bien entendu, dans ce cas-ci, le fait d'être étudiant implique un risque plus élevé d'habiter encore au domicile familial, et par le fait même d'avoir une probabilité moins forte d'être répondant direct. Au contraire, le fait d'être travailleur pour cette cohorte augmente la probabilité d'avoir quitté le domicile familial et d'habiter dans un ménage moins nombreux.

La Figure 14 illustre la proportion des personnes vivant dans un ménage possédant au moins une automobile dans la population et chez les répondants directs et indirects.

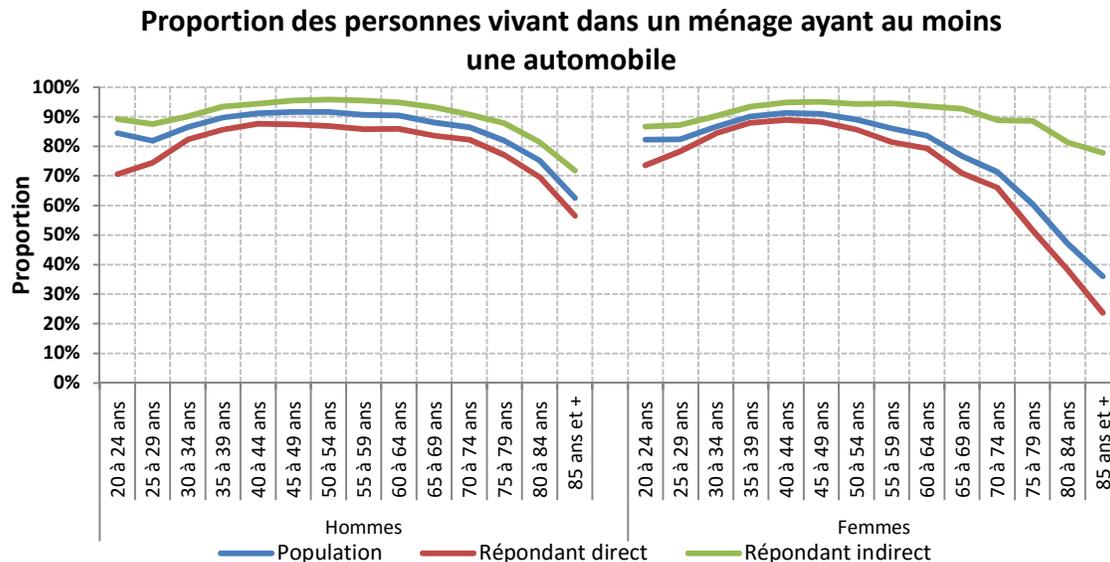


Figure 14 : Proportion des personnes de 20 ans et plus vivant dans un ménage ayant au moins une automobile pour la population globale, les répondants directs et les répondants indirects (OD 2008)

Il y a des différences observées entre l'échantillon de répondants directs et indirects pour l'ensemble des cohortes. Le fait d'être répondant indirect implique que la personne habite dans un ménage d'au moins deux personnes. Plus le ménage est nombreux, plus la probabilité est forte de posséder une automobile. Dans le cas des femmes âgées de 60 ans et plus, les différences observées sont importantes mais principalement liées à la structure du ménage et à l'espérance de vie des femmes. L'analyse précédente devrait être segmentée en fonction du type du ménage afin de voir si des tendances différentes apparaissent.

2.2.6 Outil Excel

Une application Excel a été développée afin d'étudier le biais du répondant. L'objectif principal de cet outil est de permettre de visualiser l'effet du biais du répondant selon plusieurs indicateurs de mobilité et plusieurs variables de segmentation.

Variables de segmentation

Tel que précisé précédemment, les différences entre les répondants directs et indirects dépendent de plusieurs facteurs d'influences et sociodémographiques. Les biais observés peuvent aussi être différents selon le niveau de résolution utilisé. Les résultats sont donc disponibles en fonction de plusieurs variables de segmentation :

- Âge des individus (segmentation en cohorte de 5 ans)
- Genre des individus (homme ou femme)
- Région de domicile (8 régions et la grande région de Montréal (GRM))
- Taille du ménage
- Travailleurs uniquement (n'est pas disponible pour 1987)

Les 8 régions d'analyse sont présentées à la Figure 2. L'outil permet de plus de consulter les indicateurs au niveau de la GRM. Seules les personnes de 16 ans et plus sont étudiées. Le territoire est non comparable entre les enquêtes.

1	Centre-Ville
2	Montréal-Centre
3	Montréal-Est
4	Montréal-Ouest
5	Laval
6	Rive-sud proche
7	Couronne nord
8	Couronne sud

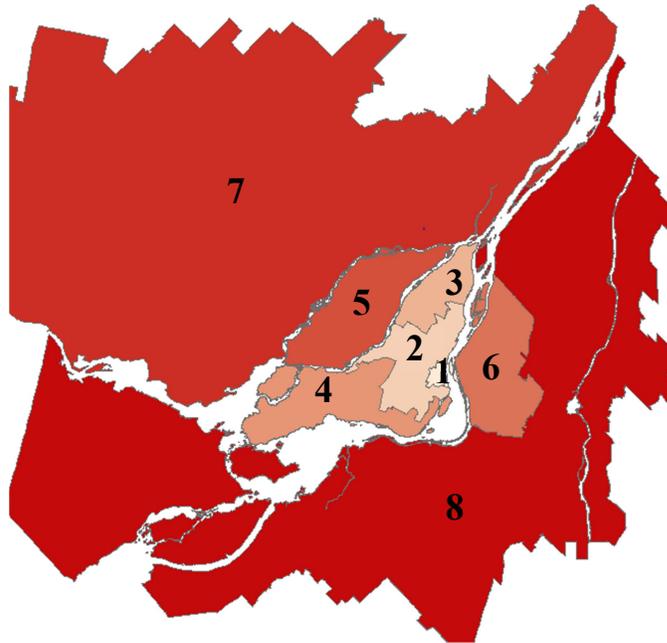


Figure 15 : Les 8 grandes régions d'analyse disponibles dans l'outil (territoire OD 2008)

Liste des indicateurs

Plusieurs types d'indicateurs sur la mobilité des individus sont disponibles pour consultation dans l'outil. Principalement, les indicateurs sont basés sur l'objet déplacement. Les types d'indicateurs suivants sont disponibles :

- Taux de mobilité par personne par jour, segmenté selon le motif d'activité ou le mode de transport;
- Nombre de déplacements effectués en Pointe AM par personne par jour et nombre de déplacements externes au domicile effectués par personne par jour.
- Distance moyenne à vol d'oiseau parcourue par jour, segmenté selon le motif d'activité ou le mode de transport;
- Durée moyenne d'activité par jour, segmenté selon le motif d'activité ou le mode de transport;
- Proportion de personnes non-mobiles ou faisant un type de déplacements

Il y a en tout près de 55 indicateurs différents à consulter. De plus, l'ensemble de ces indicateurs sont disponibles selon les variables de segmentation précédemment discutées.

Représentativité des différences observées

L'outil permet facilement de visualiser s'il y a des différences entre les répondants directs et les répondants indirects pour un indicateur de mobilité. Il est cependant difficile de déterminer si la différence observée est significative. Afin de valider l'existence du biais, il faut tout d'abord s'assurer que les différences observées sur un indicateur entre les répondants directs et indirects sont statistiquement significatives. Pour ce faire, le test statistique de t_Student a été utilisé. Ce

test permet de comparer deux indicateurs en déterminant s'ils proviennent d'une même population. S'ils proviennent d'une même population, ils ne peuvent être considérés statistiquement différents. Dans le cas inverse, les indicateurs peuvent être considérés différents. Les hypothèses du test sont les suivantes :

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Équation 1 : Hypothèses du test de t-Student sur l'égalité de deux moyennes.

Les équations utilisées pour le test sont les suivantes :

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \text{ où}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Équation 2 : Équations du calcul de la statistique de t-Student.

L'utilisation du test paramétrique demande que les échantillons étudiés suivent une distribution normale. Cependant, le test demeure robuste lorsque le nombre d'observations est grand. Cela est le cas dans les enquêtes OD, malgré l'utilisation de variables de segmentation.

Utilisation de l'outil

L'outil se divise en trois panneaux accessibles sur la page principale. Il est possible de changer en tout temps la région de domicile, l'enquête visée ainsi que l'indicateur étudié.

Le haut du premier panneau présenté à la Figure 16 permet de visualiser l'indicateur choisi en fonction des 5 enquêtes disponibles dans l'outil. Les indicateurs sont segmentés en fonction de cohortes de 5 ans et du genre de la personne. De plus, il est possible de choisir la région d'analyse et l'indicateur à visualiser. Le bas du panneau permet de visualiser l'indicateur choisi entre les répondants directs et indirects. L'application permet aussi de choisir la variable de segmentation liée au type de ménage ou au statut « travailleurs » de la personne ainsi que le niveau de confiance désiré lors des tests statistiques. Si la différence entre les deux échantillons est considérée statistiquement significative selon le niveau de confiance choisi, une barre bleue s'affiche sur le fond du graphique.

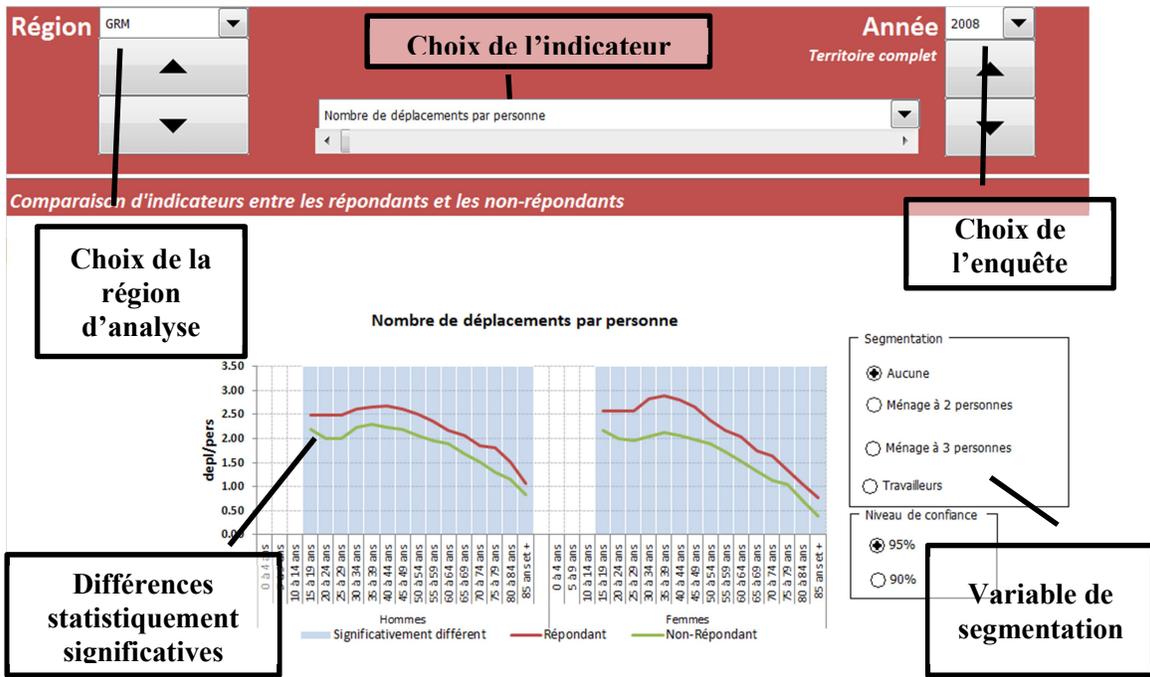


Figure 16 : Section 1 de l'application Excel : Visualisation d'un indicateur pour les répondants directs et indirects.

Le second panneau présenté à la Figure 17 permet d'évaluer l'impact du biais du répondant. Le nombre de déplacements supplémentaires est estimé en supposant que les répondants indirects ont les mêmes comportements de mobilité (indicateurs moyens) que les répondants directs. Les résultats globaux sont présentés ainsi que des résultats segmentés selon la cohorte et le genre.

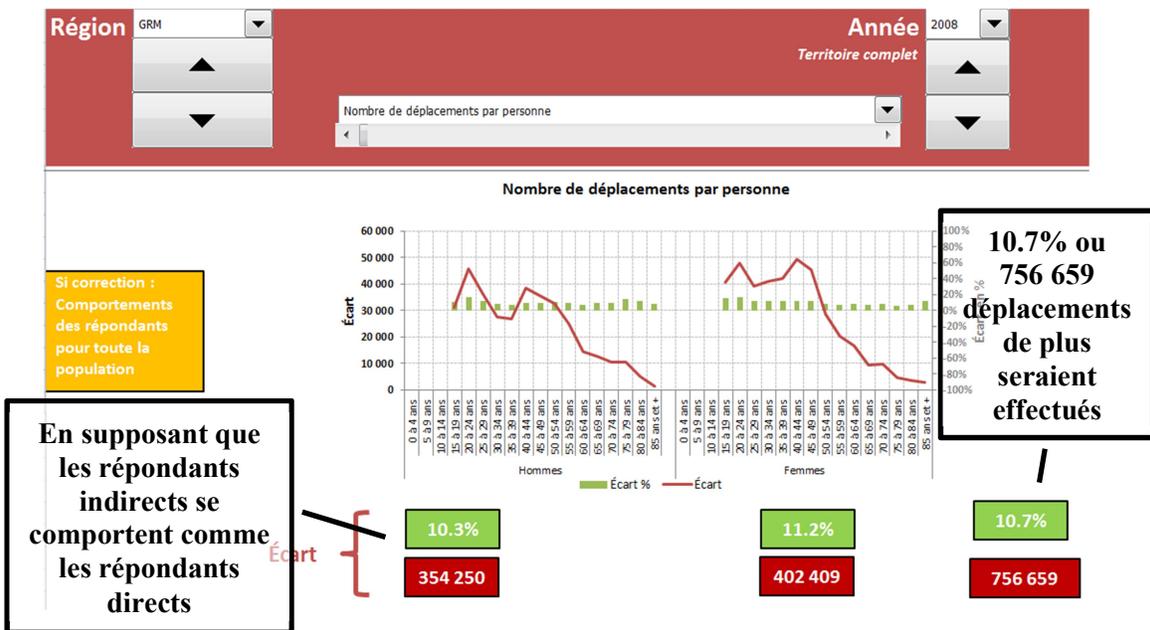


Figure 17 : Section 2 de l'application Excel : évaluation de l'impact du biais du répondant

Le troisième panneau présenté à la Figure 18 permet de visualiser l'évolution du biais du répondant au travers de 5 dernières enquêtes sur le même graphique. Il permet aussi de vérifier si la tendance globale est statistiquement significative par rapport à l'enquête précédente.

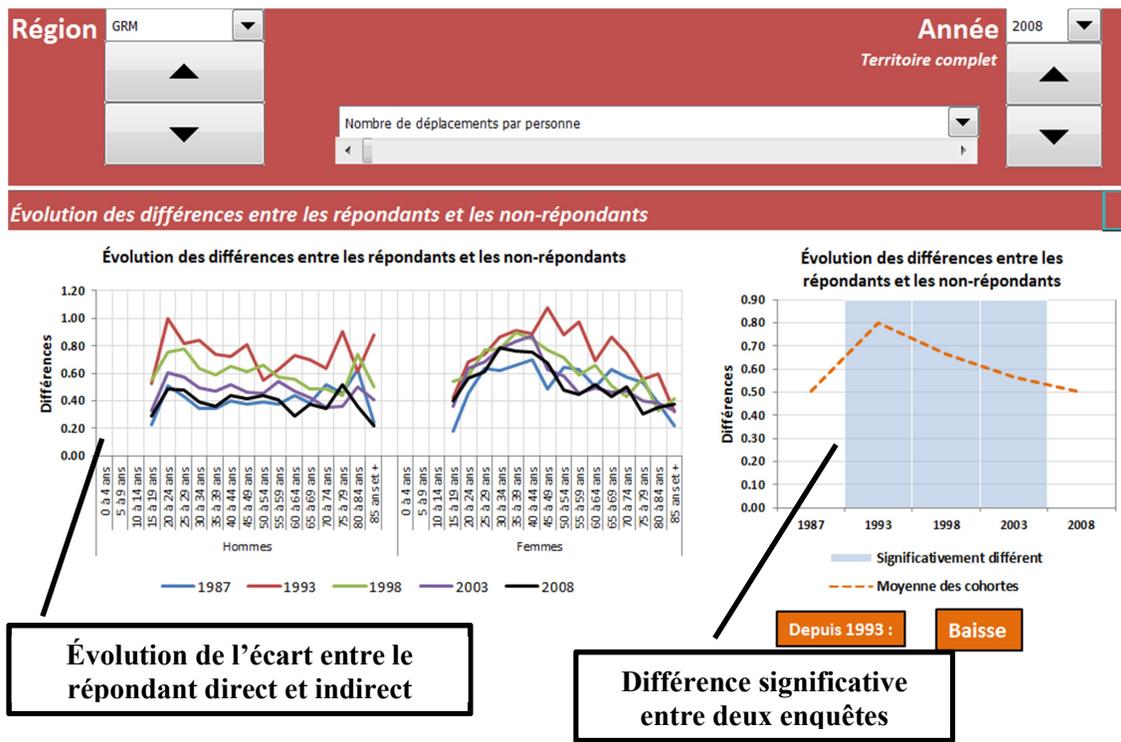


Figure 18 : Section 3 de l'application Excel : Évolution du biais du répondant

2.2.7 Comparaison d'indicateurs entre les répondants directs et indirects

La section suivante présente une comparaison de différents indicateurs de mobilité, principalement basés sur les taux de mobilité par personne, entre les répondants directs et indirects. Seuls certains indicateurs au niveau de la GRM sont présentés dans cette section. Les résultats proviennent de l'enquête OD 2008 et couvrent la GRM. Cependant, l'application Excel permet de consulter l'ensemble des indicateurs compilés selon les 8 grandes régions d'analyse pour les enquêtes de 1987 à 2008. Les tests statistiques de t-Student utilisent un niveau de confiance de 95%.

Nombre de déplacements par personne

Cet indicateur représente le nombre total de déplacements effectué par personne par jour.

- Figure 19 : Les différences du taux de mobilité global sont constantes et statistiquement significatives pour l'ensemble des cohortes. De plus, ces différences sont plus élevées chez les femmes, surtout chez les 20 à 40 ans, ce qui signifie que le biais du répondant affecte davantage cette tranche de population.
- Figure 20 : En pourcentage, le nombre de déplacements supplémentaires semble constant selon les cohortes et le genre. En absolu, le nombre de déplacements supplémentaires est proportionnel au nombre de déplacements effectués par personne. Ce nombre de déplacements serait d'environ 757 000 déplacements, soit 10.7% des déplacements

actuels. Il est à souligner que les écarts chez les 20 à 25 ans sont les plus élevés, ce qui correspond aux cohortes dont la proportion de répondants directs est la plus faible. Le nombre de déplacements supplémentaires serait aussi plus élevés chez les femmes malgré qu'elles aient des taux de mobilité inférieurs.

- Figure 21 : Le biais du répondant est à la baisse pour l'ensemble des cohortes. Cette tendance est statistiquement significative depuis 1993. Elle semble plus claire chez les hommes que chez les femmes, surtout chez les 20 à 40 ans.

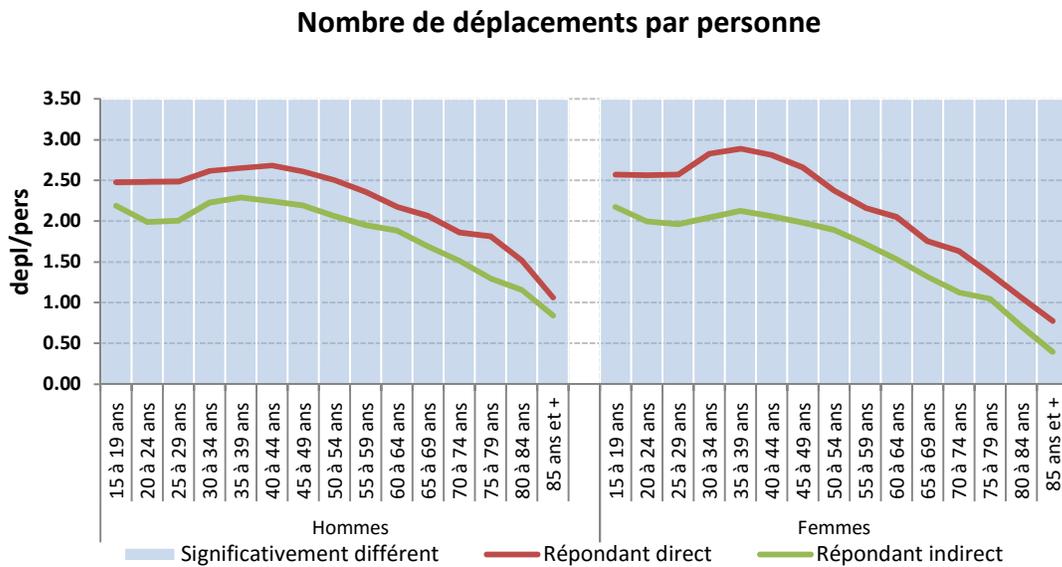


Figure 19 : Comparaison du nombre de déplacements par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

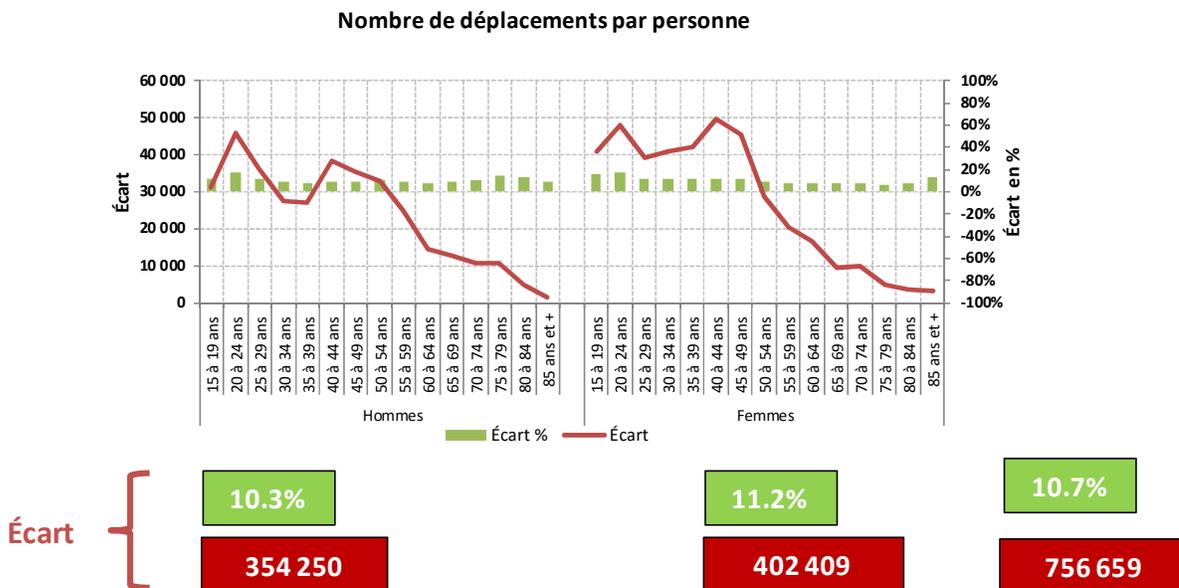


Figure 20 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

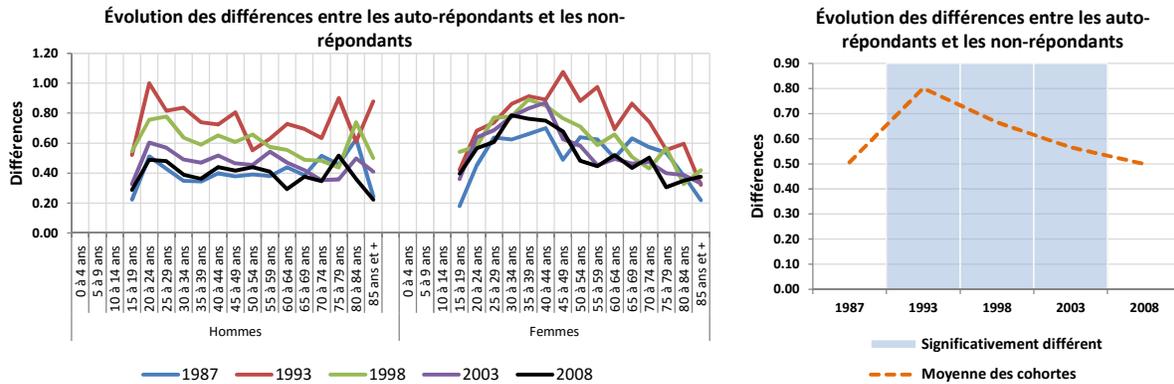


Figure 21 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements par personne

Proportion de non-mobile

Cet indicateur représente la proportion de personnes qui ont été déclarées non-mobiles dans les échantillons.

- Figure 22 : La proportion de personnes non-mobiles chez les répondants indirects est supérieure à celle des répondants directs pour l'ensemble des cohortes. Les différences sont statistiquement significatives pour l'ensemble d'entre elles, sauf pour les hommes de 60 à 64 ans.
- Figure 23 : Dans ce cas-ci, ce sont des personnes non-mobiles supplémentaires qui sont estimées. En se basant sur la proportion de personnes non-mobiles des répondants directs, environ 90 000 personnes non-mobiles de moins, soit 14.0%, seraient comptabilisées. De plus, ce sont les hommes de 20 à 29 ans qui contribuent le plus. Ces cohortes correspondent encore une fois à celles dont la proportion de répondants directs était la plus faible.
- Figure 24 : La tendance est à la baisse entre 1993 et 1998 puis elle est stable par la suite.

Il est à souligner que le taux global de mobilité est directement affecté par la proportion de non-mobile.

Proportion de Non-mobilité

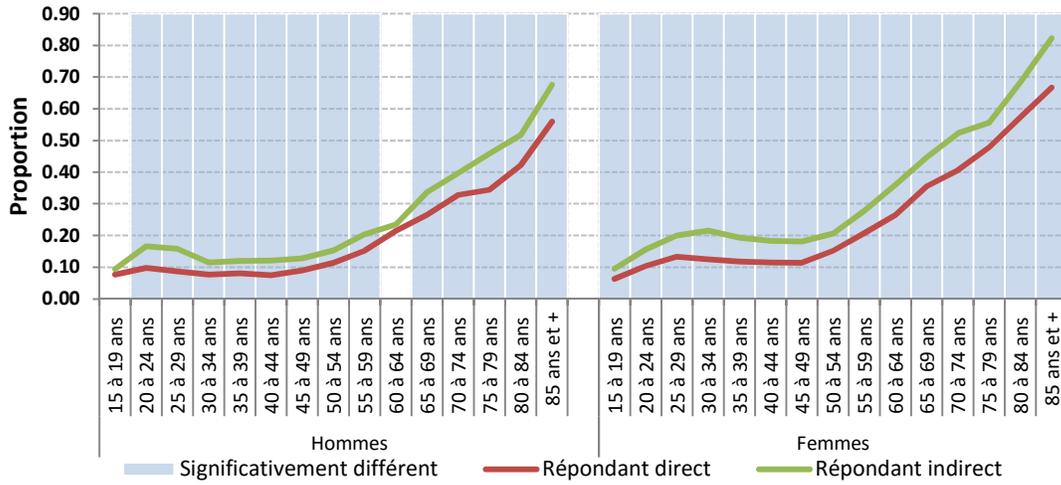


Figure 22 : Comparaison de la proportion de non-mobilité dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Proportion de Non-mobilité

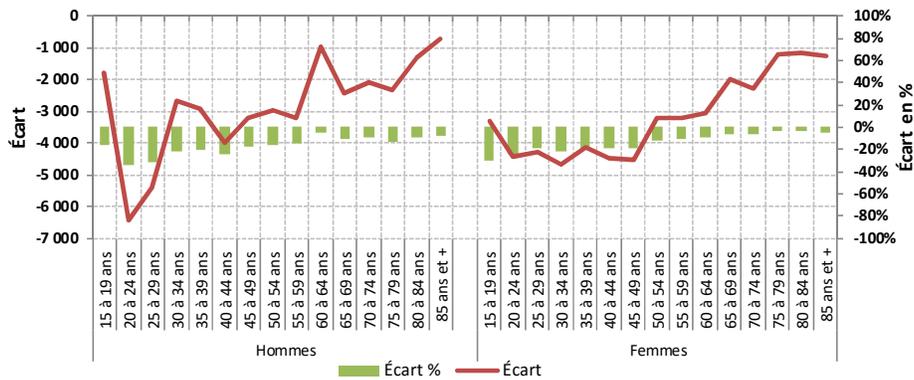


Figure 23 : Impact du biais du répondant pour la proportion de non-mobilité dans la GRM selon l'enquête OD 2008

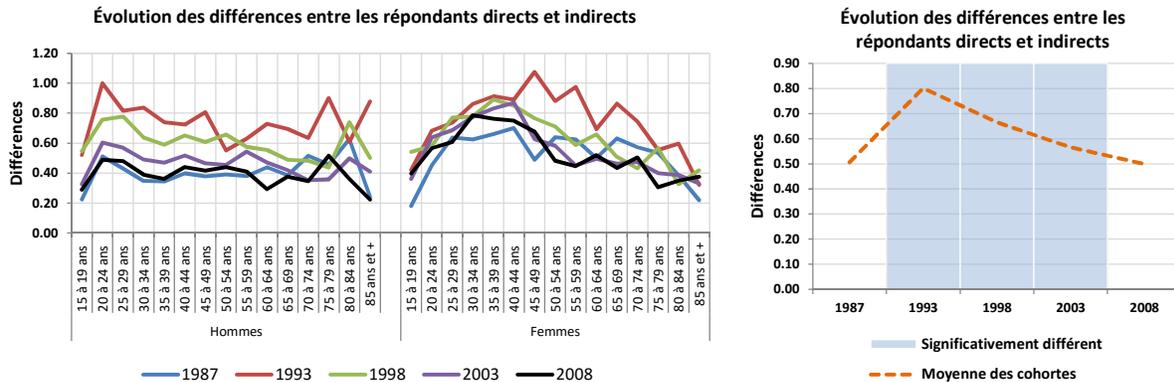


Figure 24 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la proportion de non-mobiles

Nombre de déplacements par personne mobile

Cet indicateur représente le nombre de déplacements effectués par personne mobile. Seules les personnes ayant effectué au moins un déplacement sont incluses dans le calcul.

- Figure 25 : Les différences entre les répondants directs et indirects sont significatives pour l'ensemble des cohortes sauf pour les 85 ans et plus, le nombre de personnes mobiles dans cette cohorte étant très faible. Ces différences semblent aussi plus élevées chez les femmes. Le biais du répondant observé sur la Figure 19 n'est donc pas uniquement lié aux différences dans la non-mobilité observées à la Figure 22.
- Figure 26 : En absolu, le nombre de déplacements supplémentaires serait d'environ 620 000 déplacements, soit 7.1% des déplacements actuels. La différence entre cette valeur et celle de la Figure 20 démontre la complexité d'appliquer une correction au biais du répondant. Les différences au niveau de la non-mobilité devront être corrigées avant d'appliquer des corrections sur les taux de mobilité. Le nombre de déplacements supplémentaires est plus élevé chez les femmes, qui ont des taux de mobilité par personne mobile plus élevé que les hommes. Encore une fois, la cohorte de 20 à 24 ans a l'effet le plus important. À noter qu'il y a aussi un effet important chez les femmes de 40 à 50 ans, cela étant aussi lié au nombre de personnes présentes dans ces cohortes.
- Figure 27 : La tendance est à la hausse entre 1987 et 1998 et est statistiquement significative. Elle est par la suite à la baisse entre 1998 et 2003 et stable par la suite.

Nombre de déplacements par personne qui se déplace

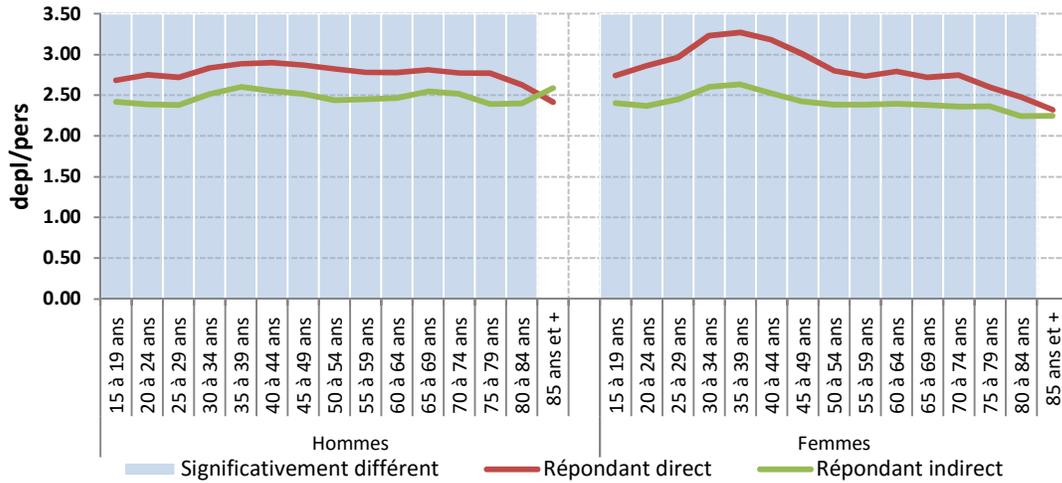


Figure 25 : Comparaison du nombre de déplacements par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Nombre de déplacements par personne qui se déplace

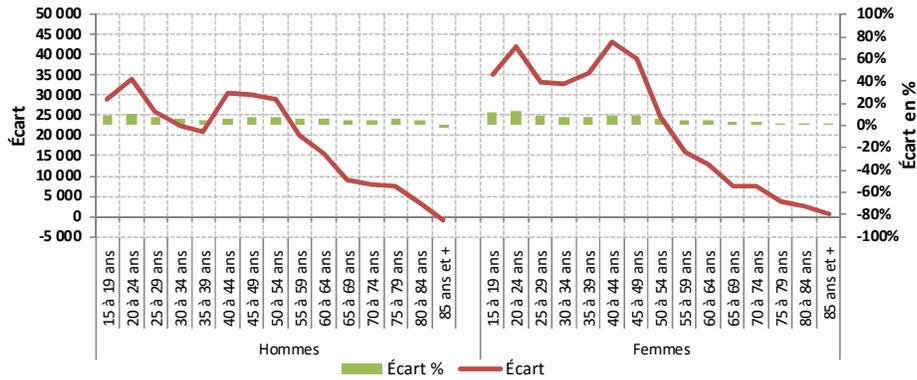


Figure 26 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

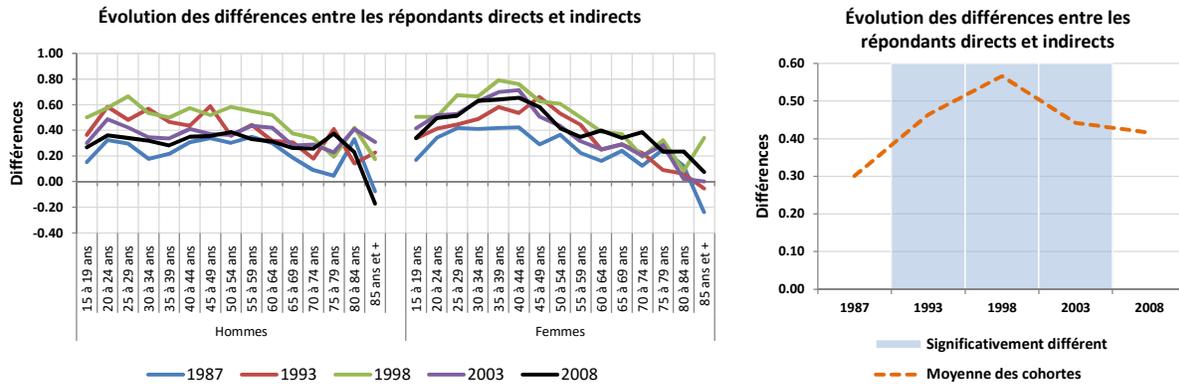


Figure 27 : Évolution des écarts entre répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements par personne mobile

Nombre de déplacements TC par personne

Cet indicateur représente le nombre de déplacements effectués en transport en commun par personne par jour. Seuls les déplacements en TC pur ont été utilisés.

- Figure 28 : Chez les hommes, les différences entre les répondants directs et les répondants indirects sont constantes selon les cohortes et sont statistiquement significatives. Chez les femmes, le biais est présent pour la majorité des cohortes, sauf pour les 25 à 34 ans. La différence entre les deux taux est beaucoup plus grande pour les 16 à 19 ans.
- Figure 29 : Chez les hommes, les déplacements supplémentaires en % (26.5% en moyenne) sont constants pour l'ensemble des cohortes. Chez les femmes, près de 50 000 déplacements supplémentaires seraient effectués par les 15 à 19 ans si les répondants indirects se comporteraient comme les répondants directs. Outre cette cohorte, l'impact du biais du répondant serait beaucoup plus faible chez les femmes que chez les hommes.
- Figure 30 : Une baisse significative est observée entre 1993 et 1998. Le biais reste stable par la suite pour cet indicateur.

Nombre de déplacements mode TC par personne

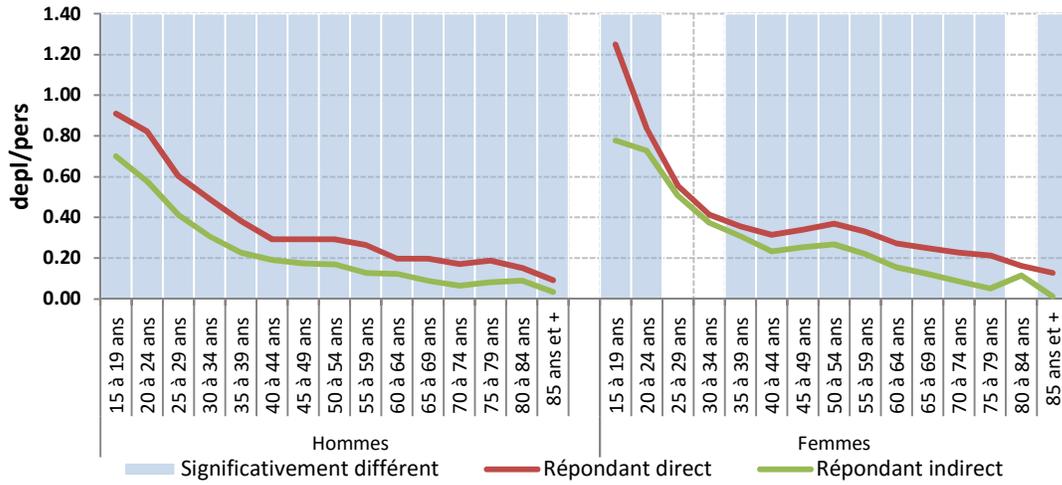


Figure 28 : Comparaison du nombre de déplacements TC par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Nombre de déplacements mode TC par personne

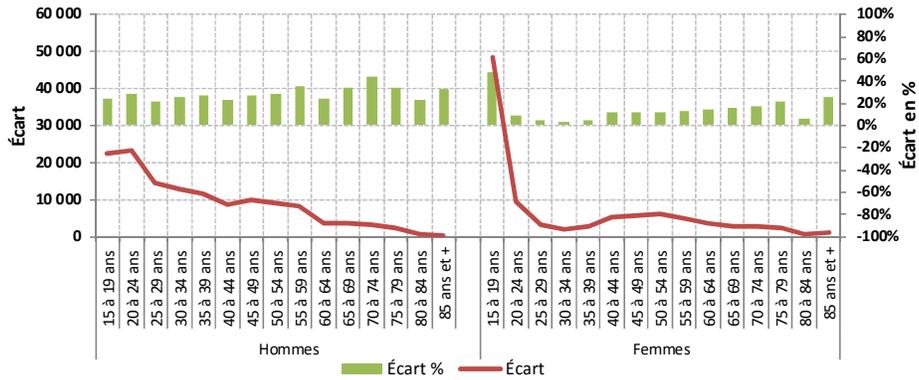


Figure 29 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements TC par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

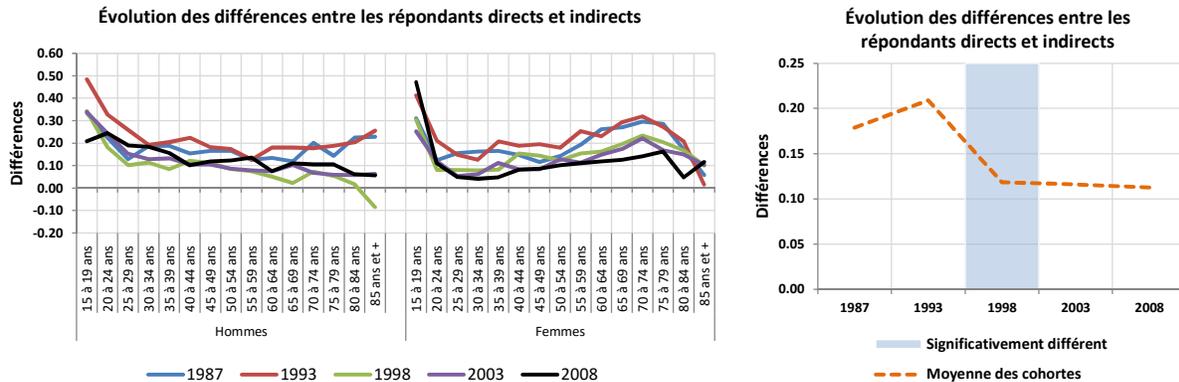


Figure 30 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements TC par personne

Nombre de déplacements en pointe AM

Cet indicateur représente le nombre de déplacements effectués par personne dont le départ du déplacement se situe entre 6h00 et 8h59 le matin.

- Figure 31 : Chez les hommes, il y a peu de différences significatives observées sauf pour les 16 à 19 ans et les 35 à 44 ans. Chez les femmes, le biais est significatif chez les 16 à 19 ans et les 25 à 44 ans. Il est à souligner que le biais est inversé pour les 16 à 19 ans, le nombre de déplacements en pointe AM par personne étant surestimé chez les répondants indirects.
- Figure 32 : L'effet du biais du répondant sur le nombre de déplacements en pointe AM est inversé entre les hommes et les femmes. Chez les hommes, près de 9 000 déplacements de moins seraient effectués tandis que chez les femmes, un peu plus de 15 100 déplacements supplémentaires seraient effectués.
- Figure 33 : Aucune tendance statistiquement significative n'est observée depuis 1987. Néanmoins, une baisse est observée chez les femmes de 40 à 64 ans.

Nombre de déplacements PAM par personne

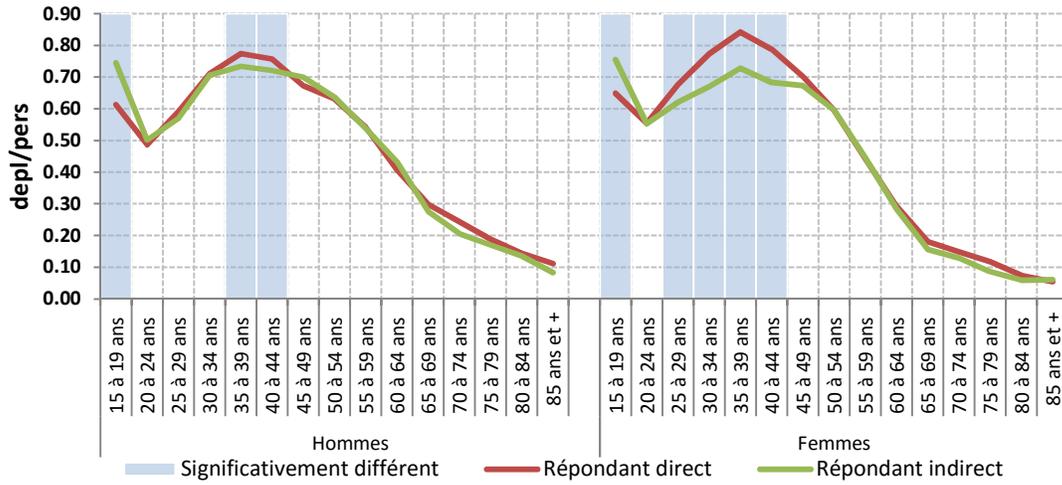


Figure 31 : Comparaison du nombre de déplacements en pointe AM par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Nombre de déplacements PAM par personne

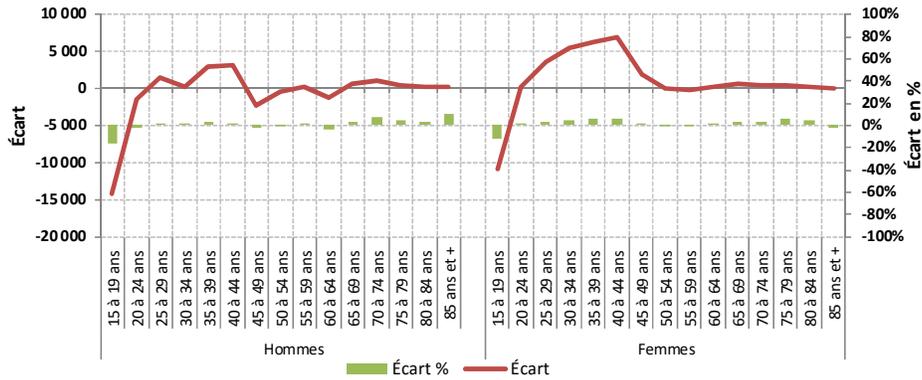


Figure 32 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements en pointe AM par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

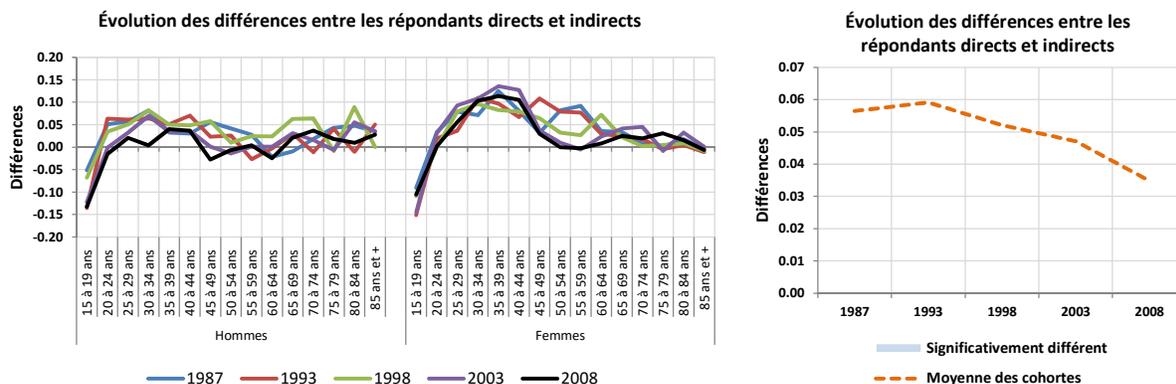


Figure 33 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements en pointe AM par personne

Nombre de déplacements externes au domicile

Cet indicateur représente le nombre de déplacements effectués par personne dont aucune des deux extrémités du déplacement n'est le domicile.

- Figure 34 : Le biais du répondant est statistiquement significatif pour la majorité des cohortes. Le biais n'est pas significatif pour les hommes de 80 ans et plus. Cependant, le nombre d'observations est très faible pour ces cohortes. Les différences observées sont plus élevées chez les femmes.
- Figure 35 : Le nombre de déplacements supplémentaires effectués en se basant les comportements des répondants directs seraient près de 230 000 déplacements, soit 33.0% des déplacements totaux de ce type. Cette valeur est plus importante chez les femmes que chez les hommes. Ces déplacements supplémentaires semblent donc liés au type de personnes qui font habituellement des chaînes complexes.
- Figure 36 : Il y a une forte hausse entre 1987 et 1993 qui est principalement liée à des changements méthodologiques dans les enquêtes. Ensuite, la tendance est à la baisse et statistiquement significative depuis 1993

Nombre de déplacements Externes au domicile par personne

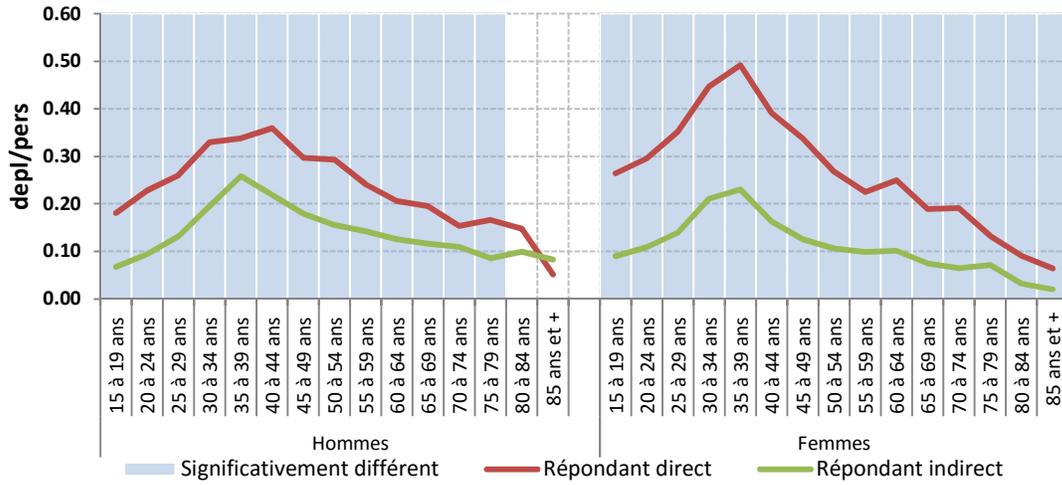


Figure 34 : Comparaison du nombre de déplacements externes au domicile par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Nombre de déplacements Externes au domicile par personne

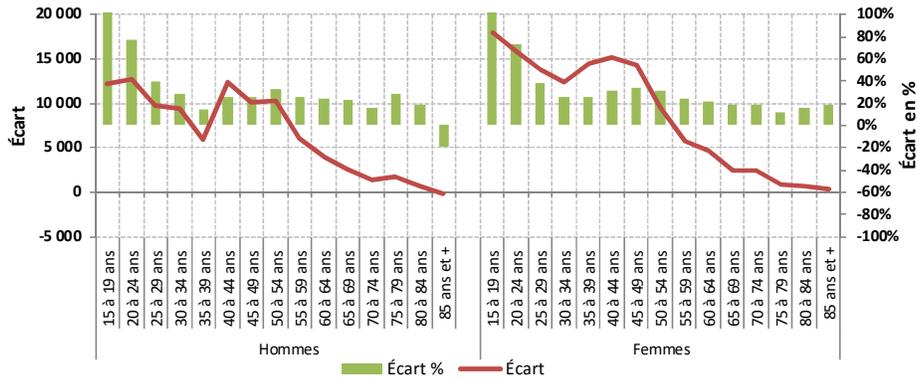


Figure 35 : Impact du biais du répondant pour le nombre total de déplacements externes au domicile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

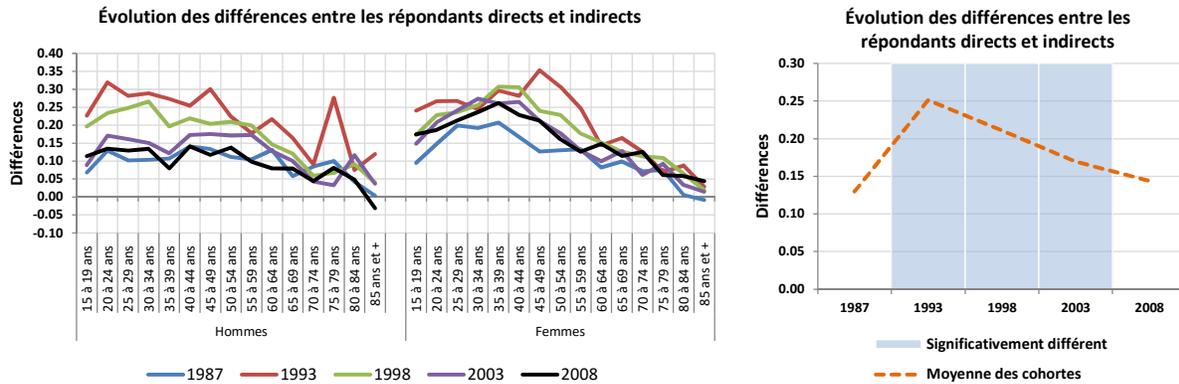


Figure 36 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacements externes au domicile par personne

Durée totale d'activité hors domicile

Cet indicateur représente la durée totale d'activité (en minutes) passée à l'extérieur du domicile. L'heure du retour au domicile correspond à celle du départ du déplacement « retour au domicile ».

- Figure 37 : Certaines cohortes sont significatives, principalement à partir de 45 ans chez les hommes et de 16 à 29 ans, de 45 à 54 et de 65 ans et plus chez les femmes. Il y a de plus un point d'inflexion autour de 60 ans où la durée moyenne devient sous-estimée pour les répondants indirects.
- Figure 38 : Dans ce cas-ci, l'écart correspond à la durée d'activité supplémentaire qui serait obtenu si on se basait sur les comportements des répondants directs. Au total, la durée d'activité est surestimée d'environ 34 millions de minutes (566 700 heures), soit 1.6 % de la durée totale en activité hors-domicile
- Figure 39 : La tendance semble s'inverser entre 1993 et 1998.

Il est à souligner que cet indicateur est fortement lié à la non-mobilité.

Durée en activité par personne

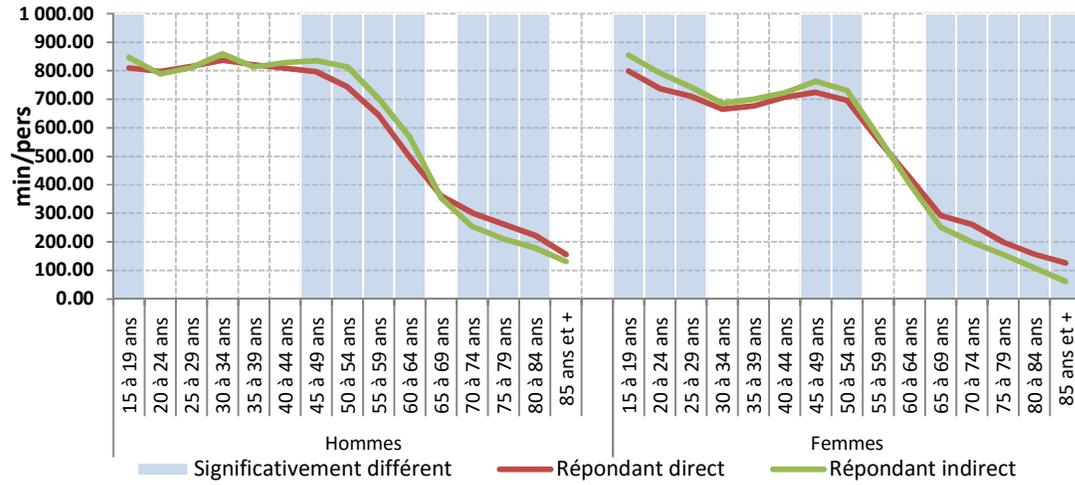


Figure 37 : Comparaison de la durée moyenne en activité par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Durée en activité par personne

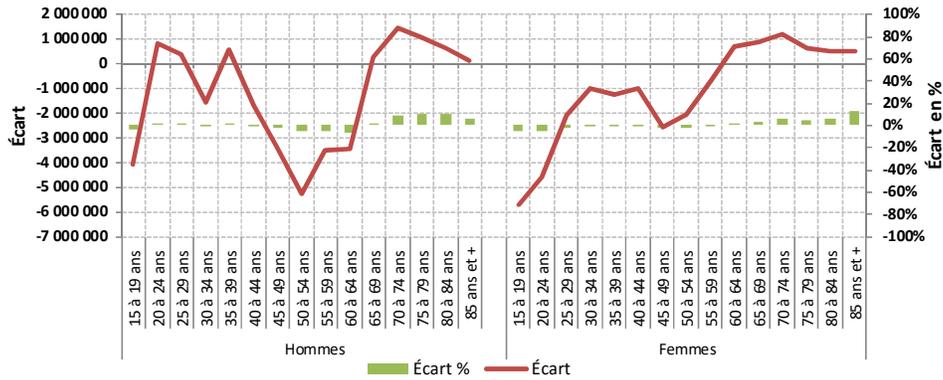


Figure 38 : Impact du biais du répondant pour la durée en activité (min) par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

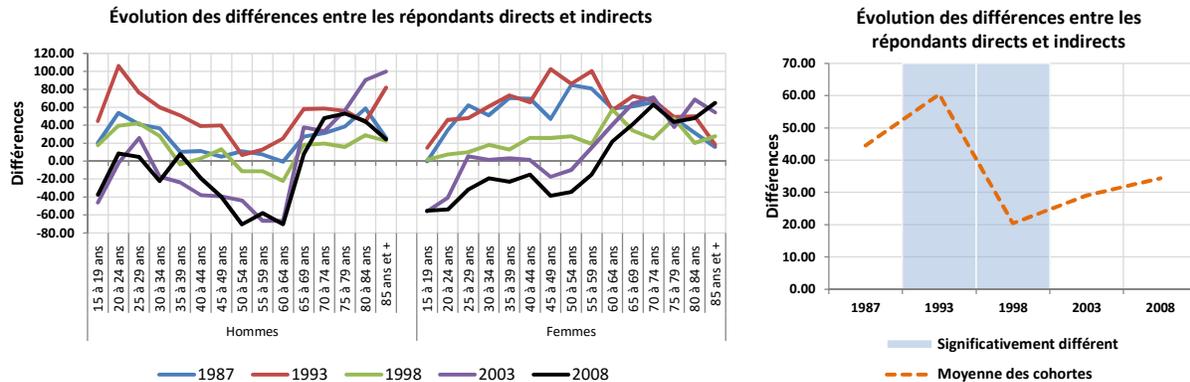


Figure 39: Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la durée en activité hors-domicile par personne

Durée totale d'activité hors domicile par personne mobile

Cet indicateur représente la durée totale d'activité (en minutes) passée à l'extérieur du domicile par personne ayant effectuée au moins un déplacement. L'heure du retour au domicile correspond à celle du départ du déplacement « retour au domicile ».

- Figure 40 : L'ensemble des cohortes de moins de 65 ans ont des différences statistiquement significatives. Le biais du répondant semble s'appliquer uniformément aux hommes et aux femmes. Comme à la Figure 37, il semble y avoir une inversion de tendance vers l'âge de 65 ans. Cependant, les différences ne sont pas significatives à partir de cet âge.
- Figure 41 : Dans ce cas-ci, l'écart correspond encore une fois à la durée d'activité supplémentaire qui serait obtenu si on se basait sur les comportements des répondants directs. Au total, la durée d'activité est surestimée d'environ 120 millions de minutes (2 millions d'heures), soit 4.7 % de la durée totale en activité hors-domicile. L'effet du biais du répondant est très semblable entre les hommes et les femmes.
- Figure 42 : Il y a une forte hausse significative du biais du répondant entre 1998 et 2003 pour cet indicateur.

Durée en activité par personne qui se déplace

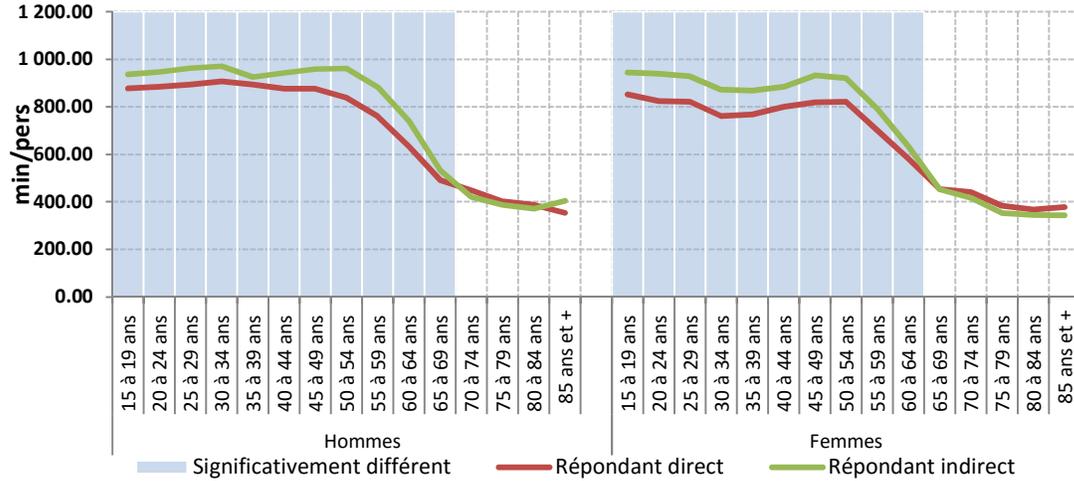


Figure 40 : Comparaison de la durée moyenne en activité par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Durée en activité par personne qui se déplace



Figure 41 : Impact du biais du répondant pour la durée en activité (min) par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

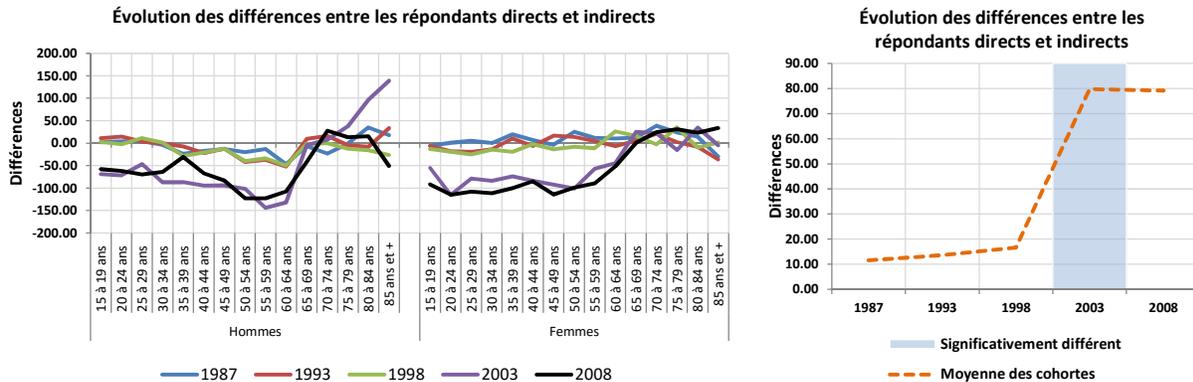


Figure 42 Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la durée en activité hors-domicile par personne mobile

Distance totale parcourue

Cet indicateur représente la distance totale (km) parcourue par personne par jour. La distance parcourue est calculée à vol d’oiseau.

- Figure 43 : Certaines cohortes ont des différences significatives, surtout chez les femmes de 30 à 49 ans.
- Figure 44 : En considérant que les répondants indirects se comportent comme des répondants directs, environ 2.5 millions de km supplémentaires seraient effectués par jour, soit 4.1% de la distance totale parcourue. Cela représente environ 0.6 km supplémentaires par personne par jour.
- Figure 45 : L’importance du biais du répondant est à la baisse depuis 1993. Les différences entre les enquêtes sont statistiquement significatives, sauf entre 1998 et 2003.

Il est à souligner que cet indicateur est fortement lié à la non-mobilité.

Distance par personne

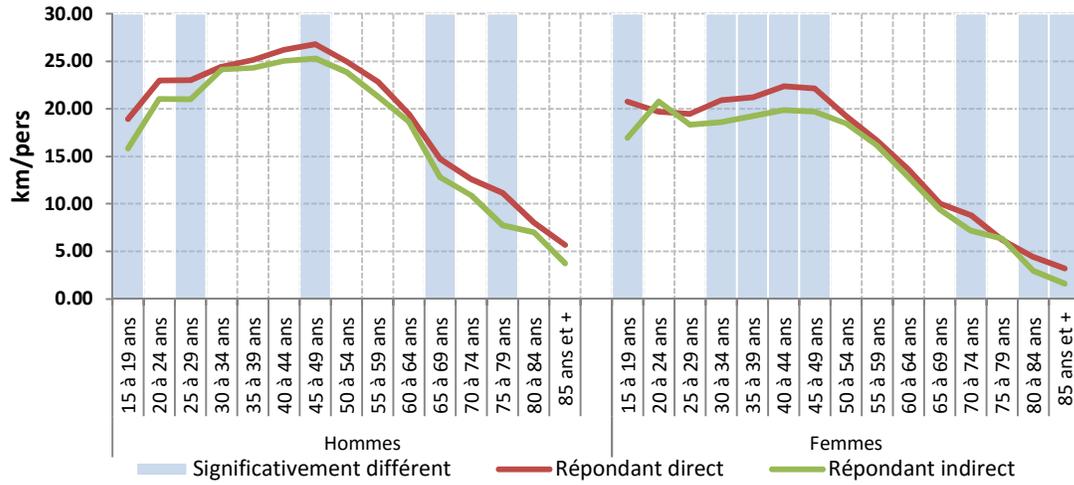


Figure 43 : Comparaison de la distance moyenne à vol d'oiseau parcourue par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Distance par personne

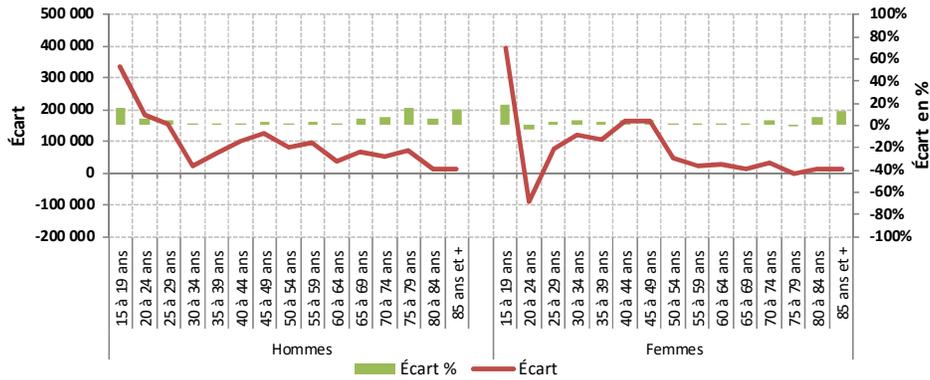


Figure 44 : Impact du biais du répondant pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

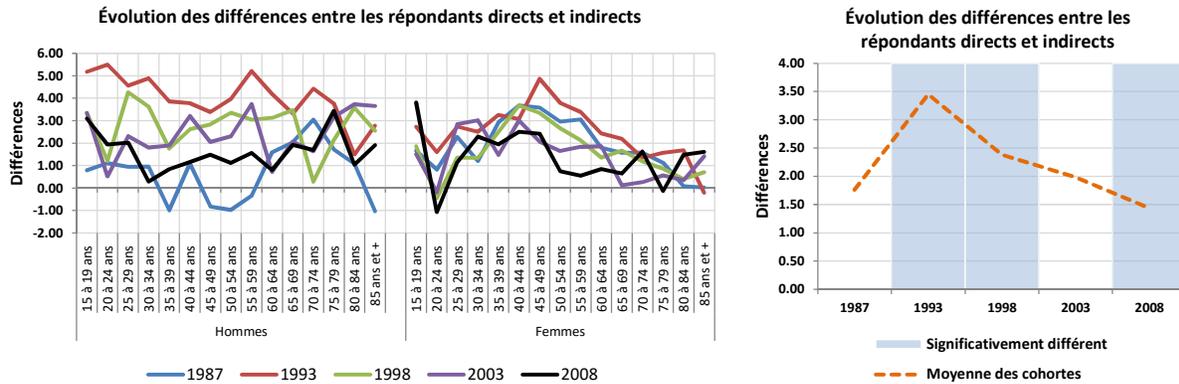


Figure 45 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne par jour

Distance totale parcourue par personne mobile

Cet indicateur représente la distance totale (km) parcourue par personne ayant effectué au moins un déplacement. La distance parcourue est calculée à vol d'oiseau.

- Figure 46 : Il y a très peu de différences significatives entre les répondants directs et indirects. Seules les cohortes de 15 à 24 ans chez les femmes et 15 à 19 ans chez les hommes ont des différences significatives. Il semble y avoir un résultat intrigant chez les femmes de 20 à 24 ans où la distance effectuée par les répondants indirects est plus élevée que celle effectuée par les répondants directs.
- Figure 47 : La distance supplémentaire qui serait effectuée est principalement liée à la cohorte des 15 à 19 ans. Au total, environ 500 000 km supplémentaires seraient effectués, soit 0.7% de la distance totale parcourue.
- Figure 48 : La tendance est à la baisse depuis 1998.

Cela démontre que le biais du répondant pour la distance totale parcourue par personne est donc lié principalement à la non-mobilité.

Distance par personne qui se déplace

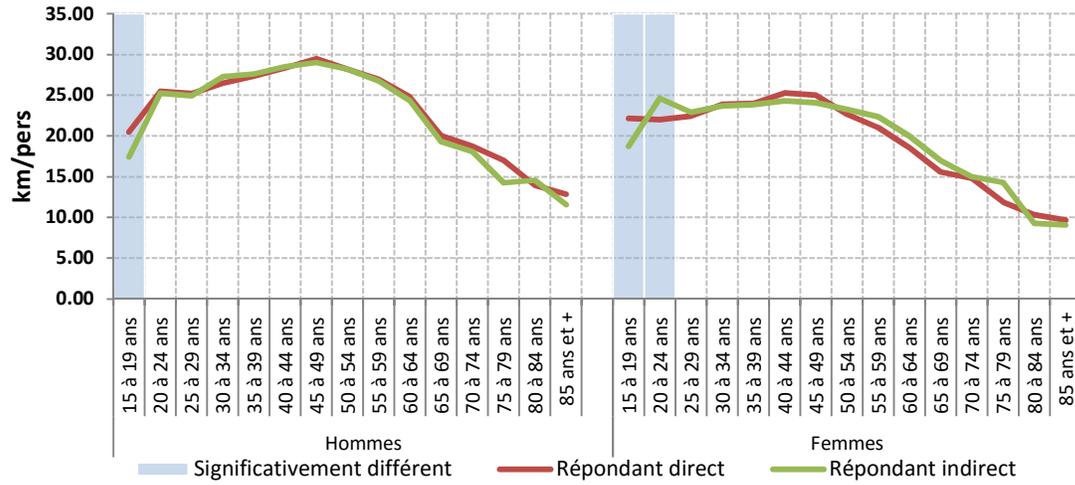


Figure 46 : Comparaison de la distance moyenne à vol d'oiseau parcourue par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Distance par personne qui se déplace

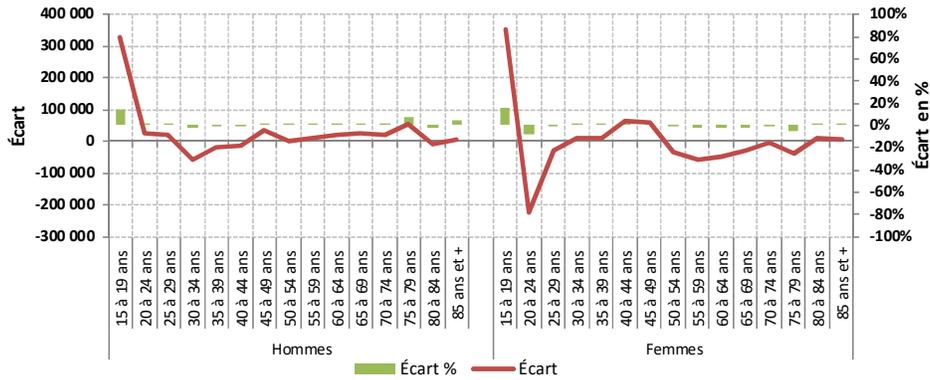


Figure 47 : Impact du biais du répondant pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne mobile par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

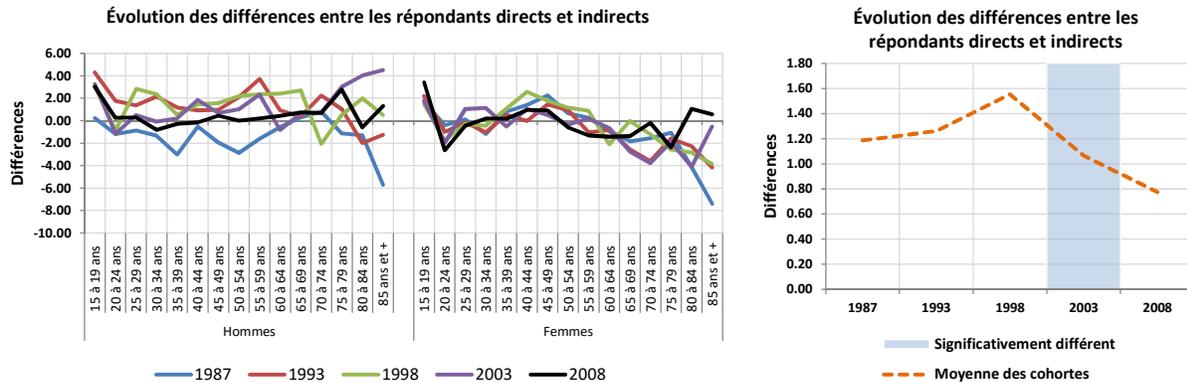


Figure 48 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la distance totale parcourue à vol d'oiseau (km) par personne mobile par jour

Taux de mobilité travail par personne qui se déplace pour travail

Cet indicateur représente le nombre de déplacements motif travail par personne ayant effectué au moins un déplacement motif travail dans la journée.

- Figure 49 : Le biais du répondant est significatif pour l'ensemble des cohortes qui se situent avant 65 ans. Les différences sont semblables entre les hommes et les femmes.
- Figure 50 : Le nombre de déplacements supplémentaires qui seraient effectués en se basant sur les comportements des répondants directs est d'environ 77 000 personnes, soit 2.3% des déplacements effectués pour motif travail.
- Figure 51 : Le biais du répondant est à la hausse entre 1987 et 1998 et à la baisse par la suite.

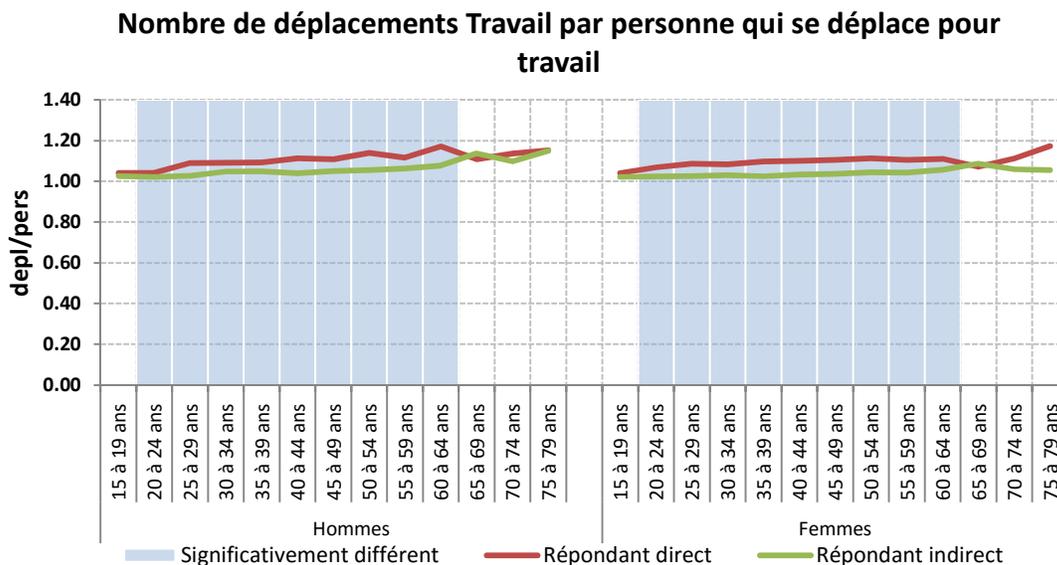


Figure 49 : Comparaison du nombre de déplacements motif travail par personne par jour qui se déplace pour travail dans la GRM selon l'enquête OD 2008

Nombre de déplacements Travail par personne qui se déplace pour travail

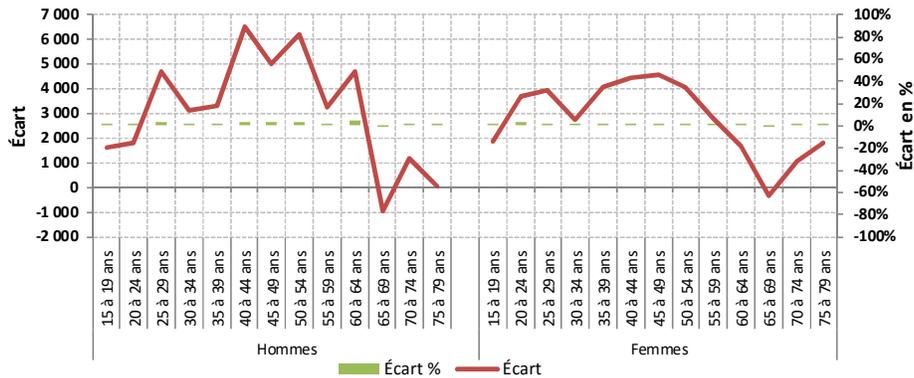


Figure 50: Impact du biais du répondant pour le nombre de déplacements motif travail par personne par jour qui se déplace pour travail dans la GRM selon l'enquête OD 2008

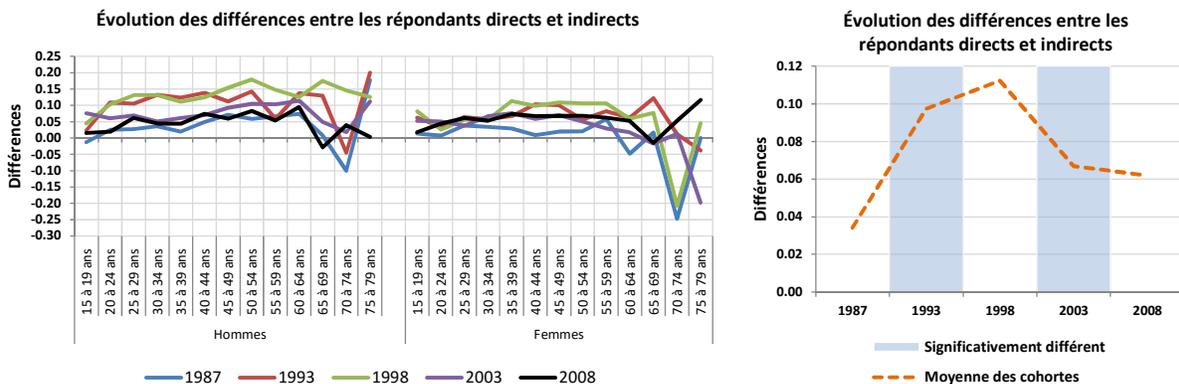


Figure 51 : Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour le nombre de déplacement motif travail par jour effectué par personne ayant effectuée au moins un déplacement travail par jour

Proportion des personnes faisant au moins un déplacement Autre

Cet indicateur représente la proportion des personnes ayant effectué au moins un déplacement pour motif autre par jour.

- Figure 52 : Le biais du répondant est significatif uniquement chez les femmes. Les cohortes affectées sont celles entre 16 et 64 ans.
- Figure 53 : Dans cas-ci, l'écart représente le nombre de personnes supplémentaires qui effectueraient au moins 1 déplacement pour motif autre par jour si les comportements des répondants indirects étaient les mêmes que les répondants directs. Chez les hommes, environ 20 000 personnes supplémentaires effectueraient au moins 1 déplacement motif autre, soit 6.4% de plus. Chez les femmes, environ 59 000 personnes supplémentaires effectueraient au moins 1 déplacement motif autre, soit 19.1% de plus.

- Figure 54 : Il n'y a aucune tendance significative qui est observée.

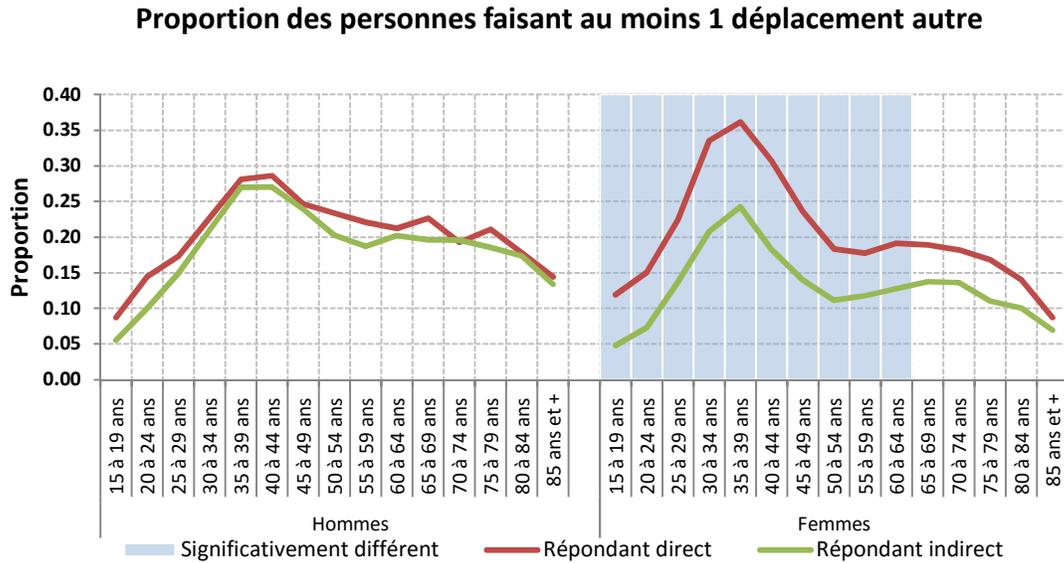


Figure 52 : Comparaison de la proportion des personnes faisant au moins un déplacement motif autre par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

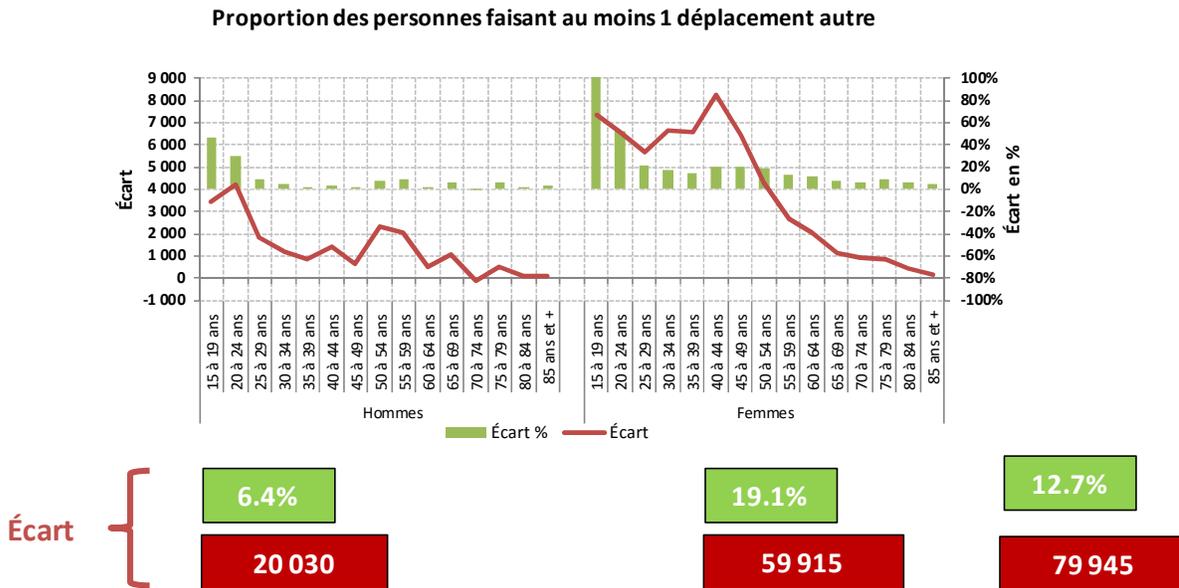


Figure 53 : Impact du biais du répondant pour la proportion des personnes faisant au moins un déplacement motif autre par jour dans la GRM selon l'enquête OD 2008

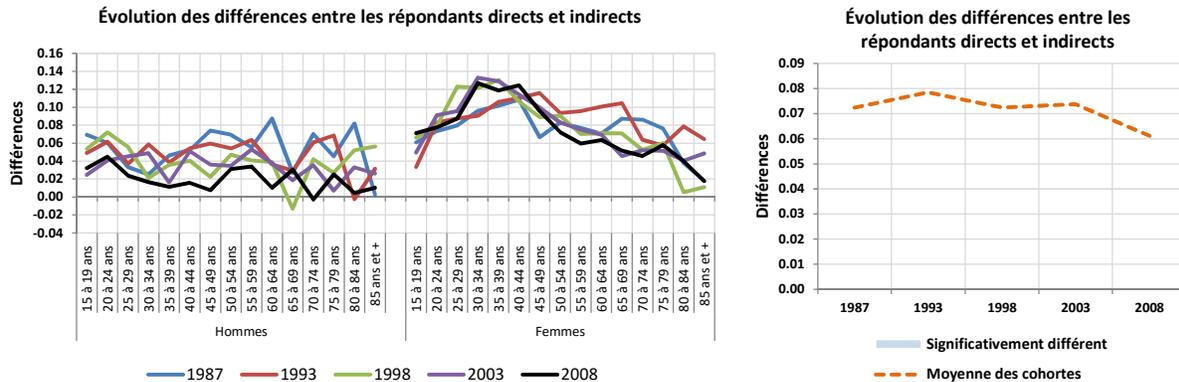


Figure 54: Évolution des écarts entre les répondants directs et indirects pour la proportion des personnes faisant au moins un déplacement motif autre par jour

Plusieurs autres indicateurs sont disponibles dans l'application Excel.

Constats généraux

Différents constats peuvent être tirés des figures de la section précédente.

- La non-mobilité est un indicateur clef car il a une influence sur plusieurs autres indicateurs.
- Le biais du répondant est significatif pour une majorité d'indicateurs qui sont basés sur les taux de mobilité.
- Le biais du répondant semble diminuer au travers du temps pour une majorité d'indicateurs.
- Il semble avoir un point d'inflexion dans les tendances du biais du répondant en 1993 pour plusieurs indicateurs. Il serait intéressant de déterminer si cela est lié principalement à des changements méthodologiques ou à des changements de comportements chez le répondant.
- Les cohortes de 16 à 30 ans sont des cohortes critiques pour plusieurs indicateurs car ce sont ces cohortes qui contiennent les moins de répondants directs. Le poids de ces cohortes dans le biais du répondant global est donc plus important que les autres cohortes. Ces cohortes correspondent aussi à celles qui sont le plus affectées par la non-réponse et par les taux d'échantillonnage faibles.

2.2.8 Synthèse

Le Tableau 2 présente une synthèse des résultats pour l'ensemble des indicateurs disponibles dans l'application Excel pour les enquêtes OD de 1998 à 2008 au niveau de la GRM. Pour chacun des indicateurs, 4 champs sont disponibles.

- Biais significatif : Pourcentage des cohortes dont la différence entre les répondants directs et indirects est significative.
- Impact : En supposant que les comportements de mobilité des répondants indirects sont les mêmes que les répondants directs, ce champ représente le pourcentage d'augmentation et de diminution de l'indicateur.

- Tendance : Évolution du biais du répondant entre l'enquête de 1993 et celle étudiée. (1993 étant un point d'inflexion pour une majorité d'indicateur)
- Tend. Sign. : Tendance significative entre l'enquête de 1993 et celle étudiée. (** = niveau de confiance de 95%)

Tableau 2 : Synthèse des indicateurs pour la GRM de l'enquête OD 2008.

Indicateurs	GRM			
	Biais significatif	Impact	Tendance	Tend. Sign
Nombre de déplacements par personne	100%	+10.70%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif travail par personne	27%	+1.40%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif étude par personne	20%	-4.69%	Baisse	
Nombre de déplacements motif loisir par personne	97%	+30.63%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif magasinage par personne	93%	+27.96%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif autre par personne	77%	+16.65%	Baisse	
Nombre de déplacements mode AC par personne	97%	+10.78%	Baisse	**
Nombre de déplacements mode AP par personne	77%	-15.82%	Hausse	**
Nombre de déplacements mode TC par personne	90%	+20.53%	Baisse	**
Nombre de déplacements mode MV par personne	93%	+30.36%	Baisse	**
Nombre de déplacements PAM par personne	27%	+0.34%	Baisse	**
Nombre de déplacements Externes au domicile par personne	93%	+33.03%	Baisse	**
Proportion de Non-mobile	93%	-14.03%	Baisse	**
Distance par personne	43%	+4.06%	Baisse	**
Distance travail par personne	27%	-2.27%	Faible hausse	
Distance étude par personne	10%	-9.55%	Faible baisse	
Distance loisir par personne	53%	+21.93%	Baisse	**
Distance magasinage par personne	73%	+23.19%	Baisse	**
Distance autre par personne	47%	+14.67%	Baisse	
Durée en activité par personne	60%	-1.59%	Baisse	**
Durée en activité travail par personne	60%	-4.25%	Hausse	**
Durée en activité étude par personne	17%	-13.98%	Baisse	
Durée en activité loisir par personne	97%	+29.59%	Baisse	**
Durée en activité magasinage par personne	90%	+23.16%	Baisse	**
Durée en activité autre par personne	57%	+12.46%	Faible baisse	
Nombre de déplacements par personne qui se déplace	93%	+7.12%	Baisse	
Nombre de déplacements Travail par personne qui se déplace pour travail	67%	+2.99%	Baisse	**
Nombre de déplacements étude par personne qui se déplace pour étude	17%	+1.92%	Baisse	
Nombre de déplacements loisir par personne qui se déplace pour loisir	50%	+3.26%	Baisse	**
Nombre de déplacements magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	37%	+2.06%	Hausse	**
Nombre de déplacements autre par personne qui se déplace pour autre	57%	+4.23%	Hausse	**
Nombre de déplacements AC par personne qui se déplace en AC	93%	+7.33%	Baisse	**
Nombre de déplacements AP par personne qui se déplace en AP	30%	-2.87%	Faible hausse	
Nombre de déplacements TC par personne qui se déplace en TC	57%	+2.96%	Baisse	**
Nombre de déplacements MV par personne qui se déplace en MV	40%	+4.53%	Hausse	
Distance par personne qui se déplace	10%	+0.67%	Baisse	**
Distance travail par personne qui se déplace pour travail	7%	-0.97%	Baisse	
Distance étude par personne qui se déplace pour Étude	24%	-7.69%	Hausse	**
Distance loisir par personne qui se déplace pour loisir	30%	-6.47%	Hausse	**
Distance magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	10%	-5.19%	Faible hausse	
Distance autre par personne qui se déplace pour autre	7%	+0.63%	Baisse	
Durée en activité par personne qui se déplace	70%	-4.68%	Hausse	**
Durée en activité travail par personne qui se déplace pour travail	70%	-3.08%	Hausse	**
Durée étude par personne qui se déplace pour Étude	53%	-7.52%	Hausse	**
Durée loisir par personne qui se déplace pour loisir	3%	+2.39%	Baisse	**
Durée magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	17%	-3.40%	Faible baisse	
Durée autre par personne qui se déplace pour autre	10%	-0.33%	Hausse	
Proportion des personnes mobiles	90%	+3.41%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement travail	30%	-1.17%	Hausse	
Proportion des personnes faisant 2 déplacements travail	0%	+25.67%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement étude	10%	-7.15%	Hausse	
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement loisir	70%	+27.27%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement magasinage	73%	+26.53%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement autre	33%	+12.71%	Baisse	

Tableau 3 : Synthèse des indicateurs pour la GRM de l'enquête OD 2003.

Indicateurs	Biais significatif	Impact	Tendance	Tend. Sign
Nombre de déplacements par personne	100%	+11.27%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif travail par personne	27%	+2.06%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif étude par personne	23%	-4.69%	Baisse	
Nombre de déplacements motif loisir par personne	97%	+28.05%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif magasinage par personne	87%	+26.41%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif autre par personne	87%	+19.97%	Baisse	
Nombre de déplacements mode AC par personne	97%	+12.73%	Baisse	**
Nombre de déplacements mode AP par personne	87%	-16.81%	Hausse	**
Nombre de déplacements mode TC par personne	93%	+19.91%	Baisse	**
Nombre de déplacements mode MV par personne	90%	+30.07%	Baisse	**
Nombre de déplacements PAM par personne	50%	+1.29%	Baisse	**
Nombre de déplacements Externes au domicile par personne	87%	+31.32%	Baisse	**
Proportion de Non-mobile	93%	-15.27%	Baisse	**
Distance par personne	70%	+4.85%	Baisse	**
Distance travail par personne	13%	-0.76%	Faible hausse	
Distance étude par personne	17%	-11.86%	Faible baisse	
Distance loisir par personne	77%	+19.28%	Baisse	**
Distance magasinage par personne	67%	+21.72%	Baisse	**
Distance autre par personne	60%	+18.77%	Baisse	
Durée en activité par personne	70%	-0.94%	Baisse	**
Durée en activité travail par personne	57%	-3.79%	Hausse	**
Durée en activité étude par personne	17%	-12.63%	Baisse	
Durée en activité loisir par personne	93%	+25.90%	Baisse	**
Durée en activité magasinage par personne	83%	+21.46%	Baisse	**
Durée en activité autre par personne	73%	+15.50%	Faible baisse	
Nombre de déplacements par personne qui se déplace	90%	+7.30%	Baisse	
Nombre de déplacements Travail par personne qui se déplace pour travail	6%	+3.19%	Baisse	**
Nombre de déplacements étude par personne qui se déplace pour étude	17%	+3.92%	Baisse	
Nombre de déplacements loisir par personne qui se déplace pour loisir	53%	+3.31%	Baisse	**
Nombre de déplacements magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	37%	+2.21%	Hausse	**
Nombre de déplacements autre par personne qui se déplace pour autre	37%	+4.01%	Hausse	**
Nombre de déplacements AC par personne qui se déplace en AC	97%	+7.89%	Baisse	**
Nombre de déplacements AP par personne qui se déplace en AP	20%	-2.37%	Faible hausse	
Nombre de déplacements TC par personne qui se déplace en TC	60%	+3.43%	Baisse	**
Nombre de déplacements MV par personne qui se déplace en MV	47%	+4.62%	Hausse	
Distance par personne qui se déplace	27%	+1.03%	Baisse	**
Distance travail par personne qui se déplace pour travail	23%	+0.65%	Baisse	
Distance étude par personne qui se déplace pour Étude	13%	+2.35%	Hausse	**
Distance loisir par personne qui se déplace pour loisir	17%	-5.14%	Hausse	**
Distance magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	17%	-4.92%	Faible hausse	
Distance autre par personne qui se déplace pour autre	30%	+3.25%	Baisse	
Durée en activité par personne qui se déplace	73%	-4.34%	Hausse	**
Durée en activité travail par personne qui se déplace pour travail	67%	-2.73%	Hausse	**
Durée étude par personne qui se déplace pour Étude	32%	-3.31%	Hausse	**
Durée loisir par personne qui se déplace pour loisir	10%	+1.48%	Baisse	**
Durée magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	17%	-3.87%	Faible baisse	
Durée autre par personne qui se déplace pour autre	10%	-0.94%	Hausse	
Proportion des personnes mobiles	87%	+3.77%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement travail	23%	-0.84%	Hausse	
Proportion des personnes faisant 2 déplacements travail	0%	+25.81%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement étude	12%	-6.75%	Hausse	
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement loisir	70%	+24.66%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement magasinage	77%	+24.79%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement autre	40%	+16.10%	Baisse	

Tableau 4 : Synthèse des indicateurs pour la GRM de l'enquête OD 1998.

Indicateurs	Biais significatif	Impact	Tendance	Tend. Sign
Nombre de déplacements par personne	100%	+13.30%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif travail par personne	53%	+5.66%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif étude par personne	37%	-3.05%	Baisse	
Nombre de déplacements motif loisir par personne	90%	+28.35%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif magasinage par personne	100%	+28.23%	Baisse	**
Nombre de déplacements motif autre par personne	80%	+20.89%	Baisse	
Nombre de déplacements mode AC par personne	100%	+15.26%	Baisse	**
Nombre de déplacements mode AP par personne	77%	-11.21%	Hausse	**
Nombre de déplacements mode TC par personne	87%	+20.86%	Baisse	**
Nombre de déplacements mode MV par personne	97%	+32.74%	Baisse	**
Nombre de déplacements PAM par personne	60%	+2.66%	Baisse	**
Nombre de déplacements Externes au domicile par personne	93%	+34.23%	Baisse	**
Proportion de Non-mobile	97%	-15.66%	Baisse	**
Distance par personne	67%	+5.82%	Baisse	**
Distance travail par personne	20%	+1.40%	Faible hausse	
Distance étude par personne	20%	-12.55%	Faible baisse	
Distance loisir par personne	60%	+17.46%	Baisse	**
Distance magasinage par personne	77%	+23.28%	Baisse	**
Distance autre par personne	63%	+16.60%	Baisse	
Durée en activité par personne	63%	+2.21%	Baisse	**
Durée en activité travail par personne	53%	-1.96%	Hausse	**
Durée en activité étude par personne	30%	-12.39%	Baisse	
Durée en activité loisir par personne	77%	+24.92%	Baisse	**
Durée en activité magasinage par personne	93%	+22.45%	Baisse	**
Durée en activité autre par personne	63%	+15.28%	Faible baisse	
Nombre de déplacements par personne qui se déplace	87%	+9.30%	Baisse	
Nombre de déplacements Travail par personne qui se déplace pour travail	19%	+4.62%	Baisse	**
Nombre de déplacements étude par personne qui se déplace pour étude	27%	+3.97%	Baisse	
Nombre de déplacements loisir par personne qui se déplace pour loisir	57%	+4.37%	Baisse	**
Nombre de déplacements magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	47%	+2.87%	Hausse	**
Nombre de déplacements autre par personne qui se déplace pour autre	57%	+4.52%	Hausse	**
Nombre de déplacements AC par personne qui se déplace en AC	87%	+9.57%	Baisse	**
Nombre de déplacements AP par personne qui se déplace en AP	20%	-1.26%	Faible hausse	
Nombre de déplacements TC par personne qui se déplace en TC	70%	+4.31%	Baisse	**
Nombre de déplacements MV par personne qui se déplace en MV	30%	+4.39%	Hausse	
Distance par personne qui se déplace	30%	+2.08%	Baisse	**
Distance travail par personne qui se déplace pour travail	17%	+0.74%	Baisse	
Distance étude par personne qui se déplace pour Étude	20%	-6.90%	Hausse	**
Distance loisir par personne qui se déplace pour loisir	27%	-6.23%	Hausse	**
Distance magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	13%	-5.02%	Faible hausse	
Distance autre par personne qui se déplace pour autre	7%	-1.54%	Baisse	
Durée en activité par personne qui se déplace	40%	-1.24%	Hausse	**
Durée en activité travail par personne qui se déplace pour travail	67%	-3.00%	Hausse	**
Durée étude par personne qui se déplace pour Étude	37%	-4.54%	Hausse	**
Durée loisir par personne qui se déplace pour loisir	7%	+0.90%	Baisse	**
Durée magasinage par personne qui se déplace pour magasinage	17%	-4.12%	Faible baisse	
Durée autre par personne qui se déplace pour autre	7%	-1.28%	Hausse	
Proportion des personnes mobiles	93%	+3.79%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement travail	17%	+0.98%	Hausse	
Proportion des personnes faisant 2 déplacements travail	0%	+26.55%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement étude	10%	-5.25%	Hausse	
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement loisir	70%	+23.60%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement magasinage	87%	+25.91%	Baisse	**
Proportion des personnes faisant au moins 1 déplacement autre	50%	+17.07%	Baisse	

L'application Excel permet de consulter ces résultats de façon plus détaillée.

2.2.9 Méthode de décomposition des effets

La méthode de décomposition des effets Oaxaca-Blinder (voir Oaxaca, 1973, Jann 2008) permet principalement d'expliquer les différences observées entre deux échantillons. Lors de l'estimation d'un indicateur dans deux échantillons indépendants, l'écart observé entre les deux indicateurs peut être expliqué par deux phénomènes.

- La composition de la population n'est pas la même dans les deux échantillons (Effet de l'échantillon) :
 - Ex : moins de personnes de 25 ans et moins enquêtées sont des répondants directs, ce qui influence les taux de mobilité.
- Les comportements de mobilité des personnes des deux échantillons ne sont pas les mêmes (Effet des coefficients) :
 - Pour ce dernier cas, il est difficile de déterminer si les différences sont dues au biais introduit par le mode d'enquête ou bien aux différences des comportements de mobilité des personnes. Il est cependant supposé que le répondant direct et le répondant indirect devraient avoir des comportements de mobilité moyens identiques pour des individus ayant un profil sociodémographique identique (âge, sexe, statut d'occupation, région de domicile, motorisation, taille du ménage). Dans ce cas-ci, l'effet des coefficients est donc associé au biais du répondant.

Dans le cas du biais du répondant, les analyses effectuées précédemment sont segmentées selon le sexe, la cohorte et la région de domicile de la personne. Ces variables sont donc exclues des variables explicatives des différences observées lors de l'analyse des figures de la section précédente. D'autres variables sociodémographiques peuvent néanmoins avoir un impact sur le biais du répondant. La méthode de décomposition permet de tester ces variables. Un des avantages de cette méthode de segmentation est qu'elle permet de déterminer le pourcentage de la différence qui est expliquée par la composition de la population et celui qui est expliqué par des comportements de mobilité différents.

De plus, il se peut très bien que l'effet échantillon et l'effet coefficient s'annulent. C'est-à-dire qu'il y aurait un biais du répondant, mais que ce biais serait contrebalancé par l'effet de la composition de la population. Ce phénomène camouflerait d'une certaine manière le biais du répondant.

Il est à souligner que pour cette méthode, l'échantillon complet est utilisé sans segmenter au préalable en répondants directs et indirects. Néanmoins, les variables de segmentation (ex : âge, sexe, région) font parti des données entrantes du modèle. De ces régressions, il est possible d'estimer la moyenne de chacun des échantillons qui représente la valeur de l'indicateur.

Méthodologie

Le concept de base de la méthode de décomposition des effets consiste à comparer des modèles de régressions linéaires distincts pour deux échantillons. La figure suivante présente un cas simple où une seule variable explicative entre dans les modèles de régression linéaire. Le concept reste néanmoins le même avec plusieurs variables explicatives. Dans ce cas-ci, les deux échantillons sont les répondants directs (RD) et les répondants indirects (RI)

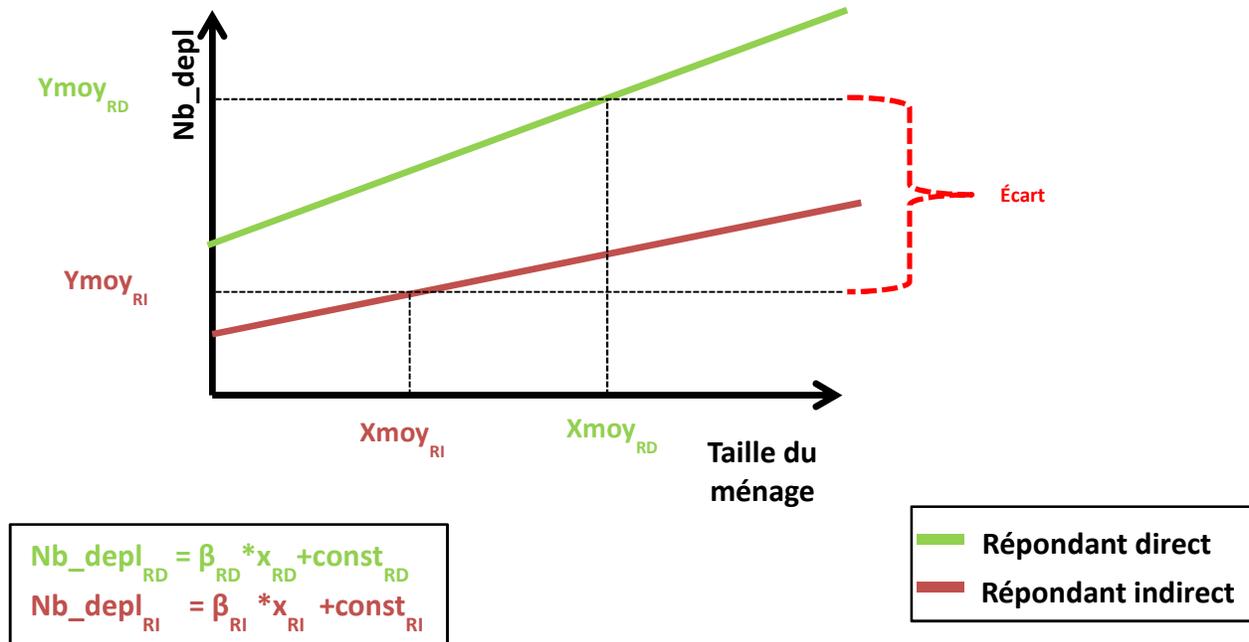


Figure 55 : Illustration des régressions linéaires pour un modèle à une variable explicative

Chacun des groupes est représenté par une équation linéaire représentant l'indicateur estimé.

$$Y_{RD} = \beta_{RD} \times X_{RD} + Const_{RD}$$

$$Y_{RI} = \beta_{RI} \times X_{RI} + Const_{RI}$$

Le modèle Oaxaca-Blinder se segmente en deux décompositions afin de déterminer l'effet lié à la composition de l'échantillon, des coefficients et à l'interaction des deux effets. L'interaction des deux effets correspond à ce qui n'est pas expliqué par le modèle. L'objectif est habituellement d'obtenir l'effet le plus petit possible pour cet aspect.

Dans le cas de la première décomposition effectuée par le modèle, l'effet lié à la composition de l'échantillon est estimé comme la différence entre la moyenne de la variable explicative pour les deux échantillons multiplié par les coefficients de l'équation des répondants indirects. $(\Delta \bar{x} \times \beta_{ri})$. L'effet des coefficients est estimé comme la différence entre les coefficients des deux équations linéaires multiplié par la moyenne de la variable explicative pour l'échantillon des répondants directs. $(\Delta \beta \times \bar{x}_{rd})$.

Dans le cas de la deuxième décomposition effectuée par le modèle, l'effet lié à la composition de l'échantillon est estimé comme la différence entre la moyenne de la variable explicative pour les deux échantillons multiplié par les coefficients de l'équation des répondants directs. $(\Delta \bar{x} \times \beta_{rd})$. L'effet des coefficients est estimé comme la différence entre les coefficients des deux équations linéaires multiplié par la moyenne de la variable explicative pour l'échantillon des répondants indirects. $(\Delta \beta \times \bar{x}_{ri})$

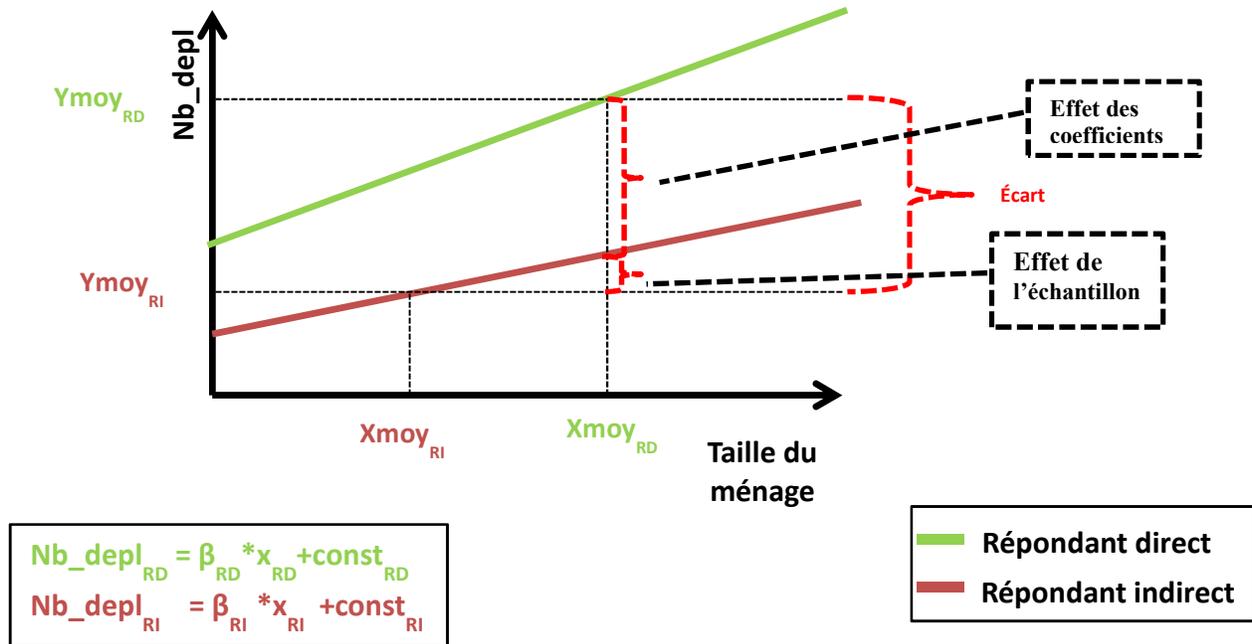


Figure 56 : Schéma représentant la première décomposition du modèle Oaxaca-Blinder

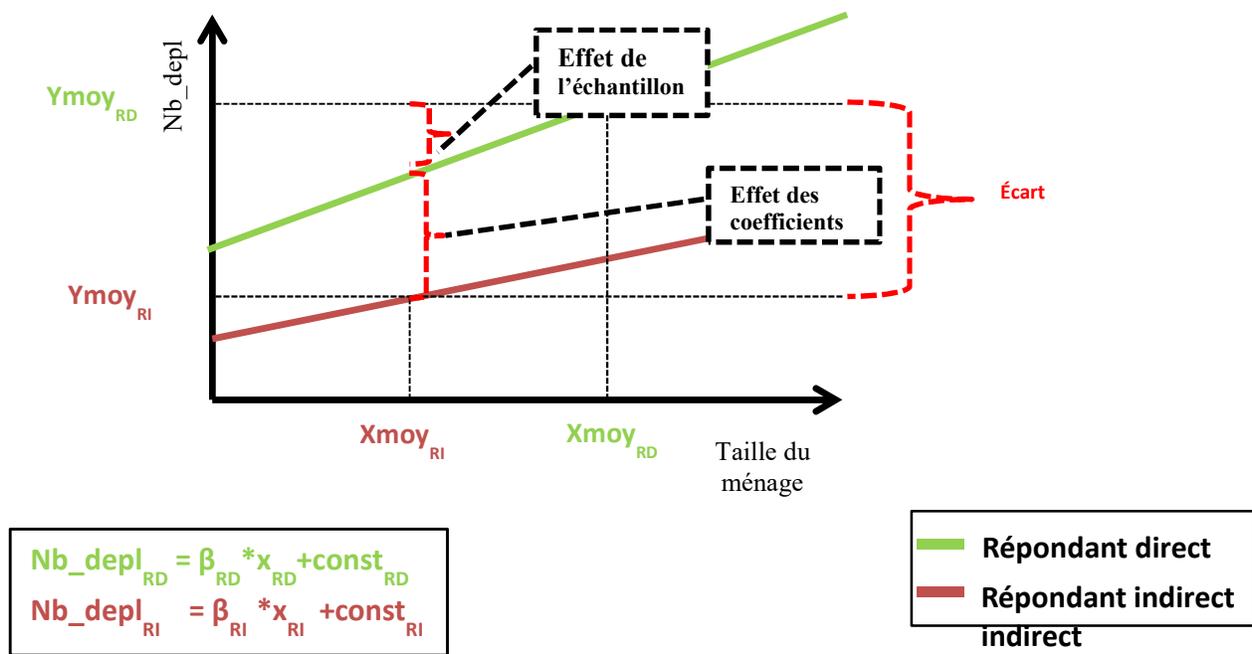


Figure 57 : Schéma représentant la deuxième décomposition du modèle Oaxaca-Blinder

L'effet final est obtenu en combinant les deux décompositions effectuées par le modèle.

$$\acute{E}cart = E + C + I$$

où E correspond à l'effet de l'échantillon, C correspond à l'effet des coefficients et I à l'interaction des deux éléments précédents. Les équations représentant les éléments précédents sont les suivantes :

$$E = \max(|\Delta\bar{x} \times \beta_{rd}|, |\Delta\bar{x} \times \beta_{ri}|)$$

$$C = \max(|\Delta\beta \times \bar{x}_{rd}|, |\Delta\beta \times \bar{x}_{ri}|)$$

$$I = \Delta\beta \times \bar{x}_{rd} - \Delta\beta \times \bar{x}_{ri} \quad \text{ou} \quad I = \Delta\bar{x} \times \beta_{rd} - \Delta\bar{x} \times \beta_{ri}$$

La Figure 58 présente un exemple des résultats de sortie de la méthode de décomposition des effets. Ces résultats permettent premièrement de conclure sur la représentativité statistique de la différence observée entre les deux échantillons. La section décomposition permet d'exprimer la part expliquée de l'écart entre les deux échantillons par les trois composantes, la composition de l'échantillon, les coefficients de la régression et la composante interaction. Elle permet aussi de déterminer si la composante a un effet significatif sur la différence observée. Pour un niveau de confiance de 99%, la p-valeur doit être inférieure à 0.01, pour un niveau de 95%, elle doit être inférieure à 0.05.

Blinder-Oaxaca decomposition		Number of obs = 121833				
1: au_rep = 0		Répondant direct				
2: au_rep = 1						
nbd	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Differential						
Prediction_1	2.430335	.0039612	613.53	0.000	2.422571	2.438099
Prediction_2	2.878499	.0063914	450.37	0.000	2.865972	2.891026
Difference	-.4481641	.0075194	-59.60	0.000	-.4629018	-.4334265
Decompositi~n						
Endowments	.0073907	.0186078	0.40	0.691	-.02908	.0438614
Coefficients	-.4278584	.008689	-49.24	0.000	-.4448886	-.4108283
Interaction	-.0276964	.0191034	-1.45	0.147	-.0651384	.0097455

Différence des
taux de mobilité

Composante
Coefficient significatif

Figure 58 : Exemple détaillé du modèle Oaxaca pour le nombre de déplacements par personne

Dans le cas de l'exemple précédent, le taux de mobilité estimé pour les répondants directs est de 2.88 déplacements par personne et 2.43 pour les répondants indirects. La différence des taux est donc de -0.45 déplacements par personnes. Cette différence est de plus statistiquement significative pour un niveau de confiance de 99%. La part de cette différence liée à la composition de l'échantillon est d'environ 0.007 (1.6%), celle liée à la composante coefficient est de -0.43 (-95.4%) et celle liée à l'interaction des deux composantes est de -0.027 (-6%). Seule la composante coefficient est statistiquement significative.

Résultats

Le Tableau 5 présente les résultats synthèses de la méthode de décomposition des effets sur plusieurs indicateurs.

Tableau 5 : Résultats de la méthode de décomposition des effets pour des indicateurs de l'OD 2008

					% de l'écart expliqué			Statistiquement significatif		
		Écart	Sign.	Échantillon	Coefficient	Interaction	Échantillon	Coefficient	Interaction	
Par personne	Depl/pers	-0.37	***	-60.2%	150.2%	10.1%	***	***	***	
	% non-mobile	0.01	***	-437.4%	587.0%	-49.6%	***	***	***	
Par personne mobile	Depl/pers	-0.42	***	-11.6%	101.9%	9.7%	***	***	***	
	Depl Travail/pers	0.02	***	122.6%	-2.4%	-20.3%	***			
	Depl Étude/pers	0.12	***	78.2%	21.4%	0.4%	***	***		
	Depl Loisir/pers	-0.10	***	29.2%	87.0%	-16.3%	***	***	***	
	Depl Magasinage/pers	-0.18	***	45.7%	62.2%	-7.9%	***	***	***	
	Depl Autre/pers	-0.14	***	-13.7%	79.0%	34.7%	***	***	***	
	Depl AC/pers	-0.37	***	-24.9%	125.2%	-0.3%	***	***		
	Depl AP/pers	0.08	***	-7.7%	179.4%	-71.6%	**	***	***	
	Depl TC/pers	-0.02	***	-108.5%	-25.7%	234.2%	***		***	
	Depl MV/pers	-0.15	***	47.4%	71.7%	-19.1%	***	***	***	
	Depl PAM/pers	0.05	***	174.0%	-11.7%	-62.3%	***		***	
	Depl EXT/pers	-0.17	***	-1.7%	97.6%	4.1%		***	*	
	Dist/pers	0.82	***	97.1%	20.5%	-17.6%	***	**	**	
Durée activité/pers	132.60	***	48.6%	43.2%	8.1%	***	***	***		

*** niveau de confiance 99%, ** niveau de confiance 95%, * niveau de confiance 90%

La distance par personne est estimée en kilomètres tandis que la durée en activité par personne est estimée en minutes.

Les pourcentages élevés de l'écart expliqué sont souvent observés pour des écarts faibles. Cela réduit leur importance dans les résultats. Pour l'ensemble des indicateurs étudiés, l'écart observé entre les répondants directs et les répondants indirects est statistiquement significatif. Pour certains d'entre eux, la différence est cependant petite. La colonne « % de l'écart expliqué » donne une meilleure compréhension des écarts car elle permet de décomposer l'effet des trois variables, composition de l'échantillon, coefficients et interaction, dans la composition de l'écart.

La composition de l'échantillon a un effet significatif sur les écarts observés pour l'ensemble des indicateurs sauf pour le nombre de déplacements externes au domicile par personne (depl ext/pers). Cela s'explique facilement par les différences sociodémographiques entre les répondants directs et les répondants indirects observées précédemment dans cette note. Cela montre l'importance d'inclure ces variables lors de l'analyse descriptive. L'effet des coefficients, qui correspond essentiellement à l'effet lié au biais du répondant, est significatif pour l'ensemble des indicateurs sauf pour le nombre de déplacements motif Travail par personne, le nombre de déplacements TC par personne et le nombre de déplacements en pointe AM par personne. Il est à souligner que ces trois indicateurs sont fortement corrélés. L'effet lié à l'interaction des deux autres composantes est aussi significatif pour l'ensemble des indicateurs sauf pour le nombre de déplacements motif travail et étude par personne ainsi que le nombre de déplacements effectués en auto-conducteur par personne. Cette composante correspond à l'effet qui n'est pas expliqué entièrement par la composition de l'échantillon et par les coefficients du modèle.

Les résultats de la méthode sur le % de non-mobile est intéressant car il permet de faire ressortir un point fort de la méthode Oaxaca. Malgré que l'écart soit assez petit (0.01) pour cet indicateur, cela ne signifie pas automatiquement que le biais du répondant est faible. En effet, dans ce cas-ci, l'effet de l'échantillon est de sens inverse que celui des coefficients et environ de même ampleur. Le biais du répondant est donc significatif pour cet indicateur malgré une différence petite entre l'indicateur moyen des deux échantillons.

Ces résultats confirment que le biais du répondant est grandement responsable des différences observées pour ces différents indicateurs. Les résultats plus détaillés de ces modèles permettent aussi de conclure que les variables sociodémographiques entrantes au modèle (âge, sexe, région, statut d'occupation, taille du ménage et nombre d'automobile par ménage) ont un effet significatif sur les résultats et qu'il faut les utiliser comme variables de segmentation lors des analyses.

L'utilisation de ce modèle permet donc à la fois de valider les résultats de l'analyse descriptive effectuée précédemment et de tester différentes variables sociodémographiques qui pourraient être utilisées comme variable de segmentation dans l'analyse descriptive. De plus, si l'objectif est de corriger le biais du répondant, la connaissance de ces variables de segmentation et leur influence sur le biais du répondant sont importants.

2.3 Biais de sélection

Le biais de sélection représente une erreur systématique qui apparaît lors de la sélection de l'échantillon. Ce biais regroupe l'ensemble des erreurs qui font que l'échantillon n'est pas représentatif de l'univers étudié. Le biais de sélection est habituellement lié à la non-réponse. Cependant, elle peut aussi avoir un impact lors de l'étude du biais du répondant. Dans le cas de

cette étude, nous cherchons à vérifier si l'ensemble de la population a la même probabilité d'être répondant direct en fonction des heures d'ouverture du plancher d'enquête.

Les analyses effectuées dans cette section se basent sur les données de l'enquête OD 2008 de semaine et de fin de semaine. L'objectif est de déterminer pour chacune des personnes de l'enquête si elle était présente, pour la journée déclarée, pendant les heures d'ouverture du plancher d'enquête. Dans cette analyse, il est supposé que les périodes passées au domicile, qui ont été déclarées, ne sont pas affectées par le biais du répondant.

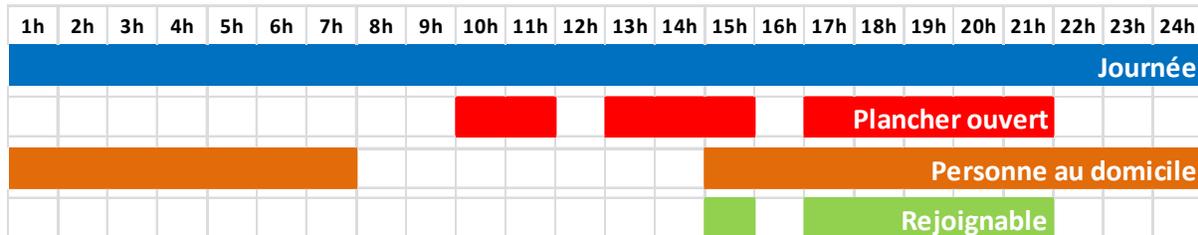


Figure 59 : Exemple de la méthodologie utilisée afin de déterminer les périodes où une personne est joignable.

Les heures d'ouverture du plancher d'enquête en 2008 étaient :

- Lundi au vendredi
 - 10h00 à 11h30
 - 12h30 à 16h30
 - 17h30 à 21h30
- Samedi
 - 11h00 à 17h00

Les tableaux suivants présentent le pourcentage du temps passé au domicile pendant le jour ouvrable précédant l'entrevue téléphonique selon la journée de la semaine. Une personne possédant un pourcentage plus élevé aura une probabilité plus élevée d'être répondant direct.

La colonne « Pondérée » correspond à la moyenne du temps passé au domicile pondérée par le nombre d'interviewers actifs pendant la période. Cet indicateur est un estimateur de la probabilité d'être rejoint par un interviewer pour la personne en supposant que son comportement est semblable pour chaque jour. Le nombre d'interviewers a été fixé à 22 le jour et à 66 le soir. Cela correspond au nombre qui était théoriquement prévu dans ces plages. En pratique, ces chiffres n'ont pas toujours été atteints.

Ces résultats correspondent assez fidèlement à la productivité du centre d'appel. Plus les personnes sont présentes au domicile, plus la probabilité de compléter une entrevue est grande. Néanmoins, ces résultats deviennent intéressants lorsqu'ils sont analysés en fonction du statut d'occupation de la personne car les comportements de mobilité sont très différents selon le statut. De plus, le statut d'occupation n'est pas intégré dans le processus de pondération des données, ce qui ne permet pas d'ajuster au besoin.

Tableau 6 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête

Jour	Période 1 : AM	Période 2 : PM	Période 3 : Soir	Samedi	Moyenne	Pondérée
<i>Lundi</i>	40.8%	63.8%	93.3%	-	71.4%	81.4%
<i>Mardi</i>	40.6%	63.0%	92.4%	-	70.7%	80.6%
<i>Mercredi</i>	40.9%	63.7%	92.2%	-	70.9%	80.6%
<i>Jeudi</i>	40.4%	62.1%	91.9%	-	70.1%	80.1%
<i>Vendredi</i>	39.7%	61.5%	88.5%	-	68.3%	77.5%
<i>Samedi</i>	-	-	-	86.8%	86.8%	86.8%
Global	40.5%	62.8%	91.6%	86.8%		

Tableau 7 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pour les travailleurs temps plein pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête

Jour	Période 1 : AM	Période 2 : PM	Période 3 : Soir	Samedi	Moyenne	Pondérée
<i>Lundi</i>	23.9%	42.7%	89.8%	-	58.6%	72.8%
<i>Mardi</i>	23.1%	41.2%	88.5%	-	57.3%	71.6%
<i>Mercredi</i>	23.1%	41.4%	88.2%	-	57.2%	71.4%
<i>Jeudi</i>	22.7%	40.0%	88.0%	-	56.6%	70.9%
<i>Vendredi</i>	23.0%	42.9%	85.8%	-	56.8%	70.0%
<i>Samedi</i>	-	-	-	87.8%	87.8%	87.8%
Global	23.1%	41.7%	88.0%	87.8%		

En comparaison, les travailleurs sont présents moins longtemps que le reste de la population pendant les heures d'ouverture du plancher. Ils ont donc une probabilité moins importante d'être un répondant. De plus, le pourcentage pondéré pour les travailleurs le samedi est beaucoup plus élevé que les jours de semaine. Ce qui signifie que les travailleurs ont une plus grande probabilité d'être répondant direct le samedi que les autres jours de la semaine. Ce qui devrait avoir pour effet d'augmenter artificiellement les taux de mobilité travail le vendredi par rapport aux autres journées de la semaine.

Tableau 8 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pour les retraités pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête

Jour	Période 1 : AM	Période 2 : PM	Période 3 : Soir	Samedi	Moyenne	Pondérée
<i>Lundi</i>	83.8%	93.7%	97.3%	-	93.2%	95.1%
<i>Mardi</i>	82.9%	92.2%	96.3%	-	92.0%	94.0%
<i>Mercredi</i>	82.6%	91.6%	96.2%	-	91.7%	93.7%
<i>Jeudi</i>	82.6%	91.1%	96.2%	-	91.4%	93.6%
<i>Vendredi</i>	83.5%	90.5%	94.0%	-	90.5%	92.1%
<i>Samedi</i>	-	-	-	84.9%	84.9%	84.9%
Global	83.1%	91.8%	96.0%	84.9%		

Pour les retraités, ils sont très présents pendant les jours de semaine. Cependant, ils sont moins présents que le reste de la population pendant le samedi. Ils ont donc une probabilité plus faible d’être rejoints le samedi que le reste de la population et des travailleurs.

Tableau 9 : Pourcentage moyen du temps passé au domicile pour les étudiants pendant les périodes d'ouverture du plancher d'enquête

Jour	Période 1 : AM	Période 2 : PM	Période 3 : Soir	Samedi	Moyenne	Pondérée
<i>Lundi</i>	17.3%	65.4%	95.6%	-	68.0%	80.6%
<i>Mardi</i>	16.4%	63.7%	95.0%	-	66.9%	79.8%
<i>Mercredi</i>	15.6%	65.0%	94.7%	-	67.1%	79.7%
<i>Jeudi</i>	16.7%	63.1%	94.1%	-	66.4%	79.0%
<i>Vendredi</i>	21.5%	64.3%	88.6%	-	65.6%	76.1%
<i>Samedi</i>	-	-	-	86.1%	86.1%	86.1%
Global	17.5%	64.3%	93.6%	86.1%		

Pour les étudiants, ils sont en général un peu plus présents au domicile pendant l’après-midi que le reste de la population. Plus une personne est présente au domicile pendant les heures d’ouvertures du plancher d’enquête, plus il y a une forte probabilité qu’elle soit rejoint. Par exemple, un étudiant aurait plus de chances d’être rejoint par un interviewer, donc d’être un répondant direct, qu’un travailleur du même âge.

Cela soulève l’importance d’obtenir, outre les populations par âge et sexe, d’autres sources de données de référence externes permettant, au besoin, d’ajuster le processus de pondération. (Exemple : Nombre d’inscriptions scolaires, nombre de travailleurs, comptage, carte à puce).

On peut aussi croire que plus on est présent à la maison pendant la journée, plus on connaît bien les déplacements effectués par les autres membres du ménage. Cela viendrait amoindrir le biais du répondant. Il est cependant difficile de déterminer précisément l’impact de ce biais dans le biais du répondant.

2.4 Conclusion

Cette note technique a permis de démontrer l’existence du biais du répondant et l’estimation de son impact pour plusieurs indicateurs. Il est indéniable que le biais du répondant a un impact important lors du calcul des grands indicateurs de mobilité de la grande région de Montréal. De plus, il a été démontré que le biais n’est pas constant entre les différentes enquêtes. Ce qui soulève plusieurs questionnements au niveau de la comparabilité des enquêtes. Il est difficile d’évaluer la part du biais du répondant lorsque l’on compare deux enquêtes car elle dépend aussi de l’évolution de la structure des ménages.

Le biais du répondant dépend de l’importance d’autres biais qui le précèdent. Ceci prend une importance particulière lorsque l’on s’intéresse à l’évolution de ce biais. Par exemple, s’il y a un biais de sous-déclaration des déplacements s’appliquant à l’ensemble de la population, ceci va avoir une influence sur l’évolution du biais du répondant. Il est donc important, premièrement d’essayer de lister les différents biais qui peuvent avoir une influence sur la qualité des données, deuxièmement, de s’assurer d’avoir les données et les outils nécessaires afin de les évaluer et

finaleme nt de trouver des mécanismes afin de les corriger ou minimaleme nt de réduire leur influence. De plus, pour toute étude utilisant des données historiques, il faudrait s'assurer d'appliquer ces corrections sur ces enquêtes historiques afin de réduire l'influence des biais sur les tendances observées.

D'un autre côté, ajuster les comportements des répondants indirects afin qu'ils correspondent aux répondants directs revient, d'une certaine façon, à utiliser seulement l'échantillon de répondants directs. Cependant, cette correction permet de garder un nombre d'observations élevés. De plus, les personnes de 15 ans et moins seront toujours des répondants indirects. Il est donc impossible, avec les données actuelles, de déterminer si leurs déplacements déclarés sont affectés par le biais du répondant.

2.4.1 Perspectives

Plusieurs perspectives de recherche peuvent être soulevées et correspondent à différents questionnements.

- Est-ce que le biais du répondant est moins élevé dans l'enquête de fin de semaine car ces déplacements sont plus familiaux ?
- Est-ce que le biais du répondant est plus élevé le samedi car la déclaration des déplacements se déroule deux jours plus tard (le lundi) ?
- En segmentant l'analyse selon le jour de déplacements, est-ce que le biais du répondant est moins important lors des déplacements effectués le vendredi car les individus sont plus présents au domicile lors de la déclaration le samedi ?
- Quel est l'importance de l'effet apporté par le biais de sélection lié aux heures d'ouverture du plancher d'enquête ?
- Est-ce que la baisse des taux de mobilité des répondants directs observés depuis 1993 est réelle ou bien est-ce qu'elle est liée au biais de sous-déclaration des déplacements ?

2.4.2 Recommandations

À partir des résultats disponibles dans cette note technique, plusieurs recommandations peuvent être faites :

- Porter une attention particulière à la non-mobilité lors de l'entrevue téléphonique car la non-mobilité a souvent un effet en cascade sur les autres indicateurs. Cela demande de développer des mécanismes afin de s'assurer de la non-mobilité des répondants indirects. Le suivi de la non-mobilité segmenté selon les répondants directs et indirects lors du suivi journalier des résultats pourrait améliorer les résultats. Un mécanisme de rappels des répondants indirects déclarés non-mobile pourrait aussi améliorer les résultats.
- Pour certaines analyses dont le biais du répondant est le plus important, il serait plus judicieux d'utiliser seulement l'échantillon de répondants directs.
- Utiliser des indicateurs de déplacements basés sur les chaînes de déplacements, qui sont moins sensibles au biais du répondant.
- Développer une méthodologie afin de corriger le biais du répondant et l'appliquer à l'ensemble des données historiques. Cela demeure un exercice complexe mais souhaitable afin de rendre les enquêtes comparables à ce niveau.

- Étudier les autres types de biais tel que la sous-déclaration des déplacements qui peuvent être lié partiellement au biais du répondant.

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 Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable : concepts, méthodes outils – Boîte à outils – proposition d’indicateurs

- Étudiante : Louiselle Sioui (doctorat)
- Supervision : Morency
- État : Examen de synthèse réussi, fin: août 2014
- Financement : Boursière CRSNG / FQRNT, Chaire Mobilité

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

En continuité des travaux liés à l’évaluation du niveau de durabilité, cette section propose une série d’indicateurs pour évaluer la mobilité durable. Il s’agit d’un extrait du document de thèse de Louiselle Sioui, version préliminaire. Ces indicateurs constituent un module du cadre d’évaluation de la mobilité durable, et est relié au à la Pieuvre et au Cercle de causalité¹. Tout d’abord, les objectifs et la méthodologie sont présentés. Ensuite, les indicateurs sélectionnés et leur lien avec les enjeux du cercle de causalité sont expliqués. Chacun des indicateurs est présenté dans une fiche méthodologique, accompagnée de formulations quant aux développements futurs à envisager. Finalement, une synthèse ajoutée de perspectives et de recommandations clôt la section.

3.1.1 Objectifs et méthodologie

Cette section comprend les contributions attendues et la méthodologie du chapitre.

Objectifs

Dans l’ensemble, ce chapitre vise à alimenter la discussion quant au choix des indicateurs et à leur développement méthodologique. Les propositions s’inscrivent dans un contexte québécois, et plus précisément montréalais. Plus spécifiquement, les objectifs sont de :

- Proposer un système d’indicateurs qui se greffe au cadre d’évaluation de la mobilité durable présenté au chapitre 3;
- Sélectionner les indicateurs avec un souci de
 - transparence vis-à-vis de la redondance des enjeux mesurés;
 - couverture des trois dimensions du développement durable;
 - couverture du plus grand nombre d’enjeux identifiés dans la Pieuvre;
 - minimisation du nombre d’indicateurs différents à estimer.
- Proposer une méthodologie pour chaque indicateur, qui soit :
 - en regard des conclusions tirées des démonstrations des chapitres 4 à 6;

¹ <http://chaire-mobilite.civil.polymtl.ca/imd/imd.html>

Utiliser le navigateur Chrome (version portable : http://portableapps.com/apps/internet/google_chrome_portable)

** Le schéma interactif est sujet à changements, car il est en évolution et réévaluation continue.

- axée sur la valorisation des bases de données disponibles dans un contexte québécois et plus précisément montréalais, principalement l'enquête origine-destination;
 - applicable à plusieurs modes ou réseaux de transport et favorise la comparaison entre ces derniers;
 - sensible aux facteurs d'offre et de demande qui l'influence;
 - applicable à diverses approches ou objets ayant un niveau d'agrégation varié, notamment les déplacements, les individus, les ménages, les générateurs de déplacements, les liens du réseau, les corridors de déplacements et les territoires.
- Identifier les axes à améliorer en termes de collecte de données et de modélisation

Méthodologie

La méthodologie du développement de la boîte à outils est liée à celle du cadre d'évaluation :

1. **Revue de littérature** sur les enjeux de la mobilité durable sur les trois dimensions du développement durable et les systèmes d'indicateurs existant pour évaluer la mobilité durable;
2. Catégorisation des enjeux de la mobilité durable (environnement, société, économie)
 - Représentation schématique statique : la Pieuvre;
3. **Identification des enjeux de la mobilité** liés aux enjeux de la mobilité durable;
4. Identification des **chaînes de causalité** entre tous les enjeux
 - Représentation schématique dynamique : Cercles de causalité;
5. Inventaire d'indicateurs issu du rapport annuel de la Chaire Mobilité, an 1

Une sélection d'indicateurs a été réalisée et, pour chacun, une méthodologie proposée.

3.1.2 Indicateurs sélectionnés

Au total, dix-sept indicateurs ont été retenus. La plupart des enjeux du Cercle de causalité sont retenus, et un ou plusieurs indicateurs leur est associé. Les indicateurs et leur lien avec les enjeux du Cercle de causalité sont présentés au Tableau 10. Neuf enjeux n'ont pas d'indicateur associé directement :

- Coûts reliés aux externalités (soins de santé et problèmes environnementaux)
- Consommation de ressources naturelles
- Îlots de chaleur, changements climatiques et exposition aux polluants
- Santé et bien-être des individus
- Santé des écosystèmes
- Dépenses individuelles

Pour ces derniers enjeux, le nombre d'hypothèses simplificatrices à ajouter dans l'estimation aurait été élevé, et la complexité méthodologique accrue. Néanmoins, ces enjeux sans indicateur direct ne sont pas exclus du cadre : ils sont reliés par des relations de causes à effets avec les indicateurs retenus. Cela permet au système d'indicateurs de les inclure indirectement. Ceci peut être constaté dans la section inférieure du Tableau 10. Par un cumul, elle récapitule le nombre

d'indicateurs (parmi les 17) reliés à l'enjeu du cercle de causalité, selon le niveau hiérarchique (allant jusqu'au niveau 2). On constate que, bien que n'ayant aucun indicateur directement attribué, la santé des individus est couverte 9 fois par des liens indirects, et les coûts en soins de santé 5 fois. Avec un cumul de 10, les trois enjeux les plus couverts directement et indirectement sont les interactions sociales et l'agrément de la communauté, l'équité et la cohésion sociale et la productivité individuelle, locale et régionale.

L'équité est également l'enjeu le plus couvert directement, avec un cumul de 3 liens directs, car plusieurs volets y sont associés : accessibilité physique et financière ainsi que l'exposition à la pollution.

Finalement, deux enjeux issus des paramètres de la mobilité sont intégrés au système d'indicateurs : les accidents et leurs victimes et la congestion. Bien que ces derniers soient des paramètres de mobilité plutôt que des impacts sur une des trois dimensions du développement durable, il importe de les ajouter car ils ne sont autrement pris en charge par aucun des indicateurs.

Dans certains cas, plusieurs méthodologies d'indicateurs sont proposées, pour diverses raisons :

- lorsqu'une seule méthodologie ne peut satisfaire différentes approches, c'est-à-dire qu'il faut plusieurs méthodologies couvrir à la fois le déplacement, le lien du réseau ou le territoire [Exemple : Utilisation d'espace et taux d'utilisation de l'emprise au sol];
- lorsqu'une seule méthodologie ne peut couvrir deux volets distincts. Les deux méthodologies devraient éventuellement être jumelées pour former un seul indice [Exemples : Potentiel de contact social grâce aux déplacements, Richesse et diversité des outils d'information à l'utilisateur];
- lorsque plusieurs volets découlent d'une même méthodologie de base [Exemples : Accidents et leurs victimes par gravité; Intensité de service, options de transport et équité d'accès].

Tableau 10. Indicateurs proposés (D pour lien direct, 0 à 2 pour le niveau du lien indirect d'après le Cercle de causalité)

#	Indicateur proposé (Déplacement(s) = Dépl.)	Société					Environnement								Économie									
		Liens sociaux & communauté	Activité physique	Santé & bien-être	Temps disponible & activités	Accessibilité & attractivité	Équité & cohésion sociales	Conso. de matériaux	Conso. d'énergie	Conso. ressources naturelles	Espace au sol	Émissions de polluants	Émissions de GES	Îlot de chaleur	Changements climatiques	Exposition aux polluants	Santé des écosystèmes	Dépenses individuelles	Coûts collectifs des services	Frais variables d'utilisation	Frais fixes d'utilisation	Coûts de mitigation probl. env.	Coûts des soins de santé	Productivité ind., locale et rég.
1	Potentiel de contact social grâce aux dépl.	D	0																			1		
2	Dépl. avec peu de nuisances polluantes favorisant l'ambiance de quartier	D																					0	
3	Activité physique réalisée lors des déplacements		D	0																		1		
4	Indisponibilité en raison des déplacements			0	D																	1	0	
5	Richesse et diversité des outils d'information à l'usager	2	2			D	0		2														0	
6	Intensités de service, options de transport et équité d'accès	2	2			D	D		2														0	
7	Matière désuète et efficacité de récupération					1	2	D		0							1			0			2	1
8	Utilisation d'espace et taux d'utilisation de l'emprise au sol	1		1			1				D			0		0						0		
9	Quantité et efficacité d'utilisation d'énergie	2		2			2		D	0		0	0	1	1	1	2					2		
10	Quantité, efficacité et équité de distribution des émissions de polluants	2		2			D				D					0	1							

#	Indicateur proposé (Déplacement(s) = Dépl.)	Société					Environnement								Économie										
		Liens sociaux & communauté	Activité physique	Santé & bien-être	Temps disponible & activités	Accessibilité & attractivité	Équité & cohésion sociales	Conso. de matériaux	Conso. d'énergie	Conso. ressources naturelles	Espace au sol	Émissions de polluants	Émissions de GES	Îlot de chaleur	Changements climatiques	Exposition aux polluants	Santé des écosystèmes	Dépenses individuelles	Coûts collectifs des services	Frais variables d'utilisation	Frais fixes d'utilisation	Coûts de mitigation probl. env.	Coûts des soins de santé	Productivité ind., locale et rég.	Revenus collectifs
11	Quantité et efficacité d'émissions de gaz à effet de serre	1		1		1						D	0	0		1					1	2	2		
12	Coûts directs de déplacement et équité de distribution des coûts					1	D											0		D	D			2	0
13	Récupération des frais d'utilisation																		D						D
14	Contribution du transport au PIB (en %)																							D	
15	Main d'œuvre disponible pour les générateurs d'emploi																							D	
16	Accidents et leurs victimes par gravité	0		0		0	0	0		2	1										2	1	1	1	
17	Niveau de congestion des routes principales	2		2	2	1	2	2	2											2				2	
	TOTAL LIEN DIRECT	2	1		1	2	3	1	1		1	1							1	1	1			2	1
	TOTAL LIEN INDIRECT niveau 0	1		4		1	2	1		2		1	1	2	1	1	1	1			1	1		4	1
	TOTAL LIEN INDIRECT niveau 1	2		2		3	2			1			1	1	1	2					2	4	1	1	
	TOTAL LIEN INDIRECT niveau 2	5	2	3	1		3	1	3	1						1				1	1	1	1	3	
	TOTAL LIENS DIRECTS & INDIRECTS	10	3	9	2	6	10	3	4	3	2	2	2	3	2	2	4	2	1	2	3	4	5	10	3

3.1.3 Fiches méthodologiques pour chaque indicateur

Cette section présente les indicateurs proposés sous forme de fiche synthèse. Voici un descriptif du contenu des 17 fiches constituées pour chacun des 17 indicateurs proposés:

- Généralités
 - Objectif général
 - Variations spatiales, temporelles et sujet à perception
 - Base de données
 - Avancées de la recherche
- Indicateur(s) proposé(s)
 - Énoncé du ou des indicateur(s) proposé(s)
 - Hypothèses : Explication, détails et hypothèses posées
 - Formulation
 - Données et manipulations requises pour l'estimation et l'interprétation
 - Limites, améliorations possibles et perspectives

Potentiel de contact social grâce aux déplacements

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution de la mobilité aux interactions sociales qui surviennent dans la vie d'un individu. Les interactions sociales peuvent survenir à la fois (1) durant le déplacement et (2) lors de la réalisation d'une activité à l'extérieur de chez soi, activité possible grâce au déplacement. Ici, seul le premier volet est évalué,

Variations : La quantité d'interactions sociales varie...

- ... dans l'espace (lieu plus ou moins propice aux interactions),
- ... dans le temps (moment plus ou moins propice : saison, période de la journée),
- ...selon la perception des usagers (définition et valeur associée à une interaction sociale).

Base de données : Aucun secteur d'activités ne quantifie systématiquement les interactions sociales : il n'existe donc pas de base de données sur cet aspect.

Avancées de la recherche : La recherche est peu avancée en ce qui a trait à la contribution des comportements de mobilité aux interactions sociales.

Indicateur(s) proposé(s)

- (a) Nombre d'activités extérieures au domicile réalisées grâce aux déplacements.
- (b) Part des déplacements réalisés en compagnie d'autres personnes que celles du ménage.

Hypothèses :

- (a) On suppose que le nombre d'activités extérieures réalisées correspond au nombre quotidien de déplacements en excluant les retours au domicile.

(b) On vise à tirer avantage des déplacements réalisés plutôt qu'à contribuer en valeur absolue aux interactions sociales totales quotidiennes pour un individu. C'est donc un taux qui est nous intéresse plutôt que le nombre.

(b) Le nombre réel d'interactions peut être représenté par un potentiel d'interactions. Tous les usagers ont la même perception du potentiel d'interactions.

(b) Le potentiel d'interactions varie entre 0 et 1 selon le mode de transport utilisé :

→ Potentiel nul : Auto-solo, Automobile avec des personnes du ménage, vélo.

On pose l'hypothèse que les interactions sociales qui participent au développement de soi sont différentes de celles à l'intérieur de chez soi, soit avec les personnes de notre ménage.

→ Potentiel non nul : Auto avec passagers autres que des personnes du ménage, marche, transport en commun.

Formulation :

(a) Pour un déplacement, un individu ou un ménage :

Nombre activités = Nombre de déplacements (sans retour au domicile)

Faire la moyenne du nombre d'activités pour le générateur de déplacements et le territoire. Ne s'applique pas aux liens et corridors.

(b) Pour un déplacement, un individu, un ménage, générateur ou un territoire :

$$\text{Part interaction} = \frac{\sum_{mode} (\text{Potentiel d'interaction}_{mode} \times \text{Temps dépl.}_{mode})}{\sum \text{Temps de dépl.}}$$

Pour un lien ou un corridor :

$$\text{Part interaction} = \frac{\sum_{mode} (\text{Potentiel d'interaction}_{mode} \times \text{Volume - heure dépl.}_{mode})}{\sum \text{Volume - heure dépl.}}$$

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Origine et destination des déplacements
 - Mode de transport utilisé lors des déplacements
 - Pour le mode automobile, types de covoitureur
- Manipulations et calculs
 - Affection sur les réseaux de transport
 - Calcul du temps de parcours

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Idéalement, les indicateurs a et b devraient former un seul indice.
- Alimenter la recherche sur le potentiel d'interactions sociales par type de mode de transport utilisé.

Déplacements avec peu de nuisances et favorisant l'ambiance de quartier

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution de la mobilité et des systèmes de transport à ce qui rend une communauté vivante et améliore l'ambiance. Cet indicateur cherche à témoigner de l'agrément de la communauté, qui dépend par exemple du sentiment de sécurité, de l'ambiance, de la beauté, de la convivialité et de la fonctionnalité du lieu.

Variations : Le niveau d'agrément d'un quartier varie...

- ...dans l'espace (zones plus ou moins agréables),
- ... dans le temps (moment plus ou moins agréables : saison, période de la journée, etc.),
- ... selon la perception des usagers (sentiment d'insécurité et d'agrément).

Base de données : Il n'existe pas de base de données sur le niveau d'agrément des communautés, ni sur ce qui le rend agréable (sentiment de sécurité, ambiance, etc.).

Avancées de la recherche : La recherche est peu avancée en ce qui a trait à la quantification de la contribution des systèmes de transport et de la mobilité à rendre la communauté agréable.

Indicateur proposé

Part des déplacements à vélo, à la marche et en TC, pour un territoire donné.

Hypothèses :

La pollution atmosphérique et sonore issue des véhicules, ainsi que leur présence et leur vitesse, rendent un territoire désagréable. Ainsi, on suppose que plus les déplacements y sont effectués à la marche et à vélo plus le territoire est agréable. Le transport en commun y est aussi du nombre, car pour y accéder la marche ou le vélo sont également utilisés. En supposant que l'automobile est stationnée sur un terrain privé, la marche pour y accéder n'a pas d'impact sur l'agrément du quartier. Le sentiment de sécurité et les agressions ne sont pas tenus en compte par cet indicateur.

Formulation :

Formule générale pour le territoire étudié :

$$\text{Part des dépl. avec peu de nuisances} = \frac{\sum \text{Origines et destinations}_{TC, March, Vélo}}{\sum \text{Origines et destinations}}$$

Le nombre de déplacements comprend à la fois les origines et les destinations, pour la période horaire au choix. La définition du territoire étudié varie selon l'approche :

- Individu, ménage, générateur : Rayon de 750 m autour du lieu étudié
- Lien, corridor : Zone tampon de (largeur de la route + 50m) de part et d'autre du centre du lien
- Territoire : Tout le territoire

Exception pour le déplacement :

- Déplacement : Valeur 1 (modes TC, marche, vélo) ou 0 (autre mode polluant)

Requis pour l'estimation et l'interprétation

- Données

- Géolocalisation des origines et destinations des déplacements
- Mode de transport
- Géolocalisation des domiciles des personnes
- Indicateurs traditionnels liés
 - Répartition modale (Auto VS autres)

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Avancer la recherche sur le lien entre l'attractivité et le d'agrément d'une zone. Puisque seule une proportion est utilisée, le niveau d'agrément peut être jugé adéquat bien qu'il y ait peu d'attractivités dans une zone (notamment à certaines heures de la journée ou certains jours de semaine).
- Avancer la recherche sur le niveau de contribution de chaque mode de transport à l'agrément de la communauté.
- Intégrer des notions de qualité de l'aménagement piéton (connectivité, luminosité, largeur des traversées, etc.).
- Inclure les déplacements de transit.
- Étudier l'influence de la taille de la zone tampon autour du lieu étudié.
- Intégrer la notion du sentiment de sécurité, influencée notamment par les volumes sur les liens (véhicules et personnes), le nombre d'accidents et le nombre d'agressions.

Activité physique réalisée lors des déplacements

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution des transports à la réalisation d'activité physique quotidienne pour les individus. Outre la longueur du déplacement, les dénivelés du trajet emprunté et les caractéristiques de l'individu, chaque mode de transport contribue différemment à la réalisation d'activité physique. Idéalement, l'indicateur doit être :

- sensible au nombre de déplacements faits par l'individu dans une journée, et aux besoins énergétiques selon l'âge et le sexe;
- sensible à la quantité d'activité physique réalisée lors d'un déplacement, selon le mode de transport utilisé, la distance parcourue, le chemin emprunté et les caractéristiques physiques de l'individu.

Variations : L'apport des déplacements à l'activité physique varie...

- ... dans l'espace, notamment en lien avec les distances parcourues et l'effort physique nécessaire à l'utilisation d'un mode,
- ... dans le temps, notamment en lien avec le mode utilisé qui est influencé par la température et le climat.

Possibilité de collecte de données: Il existe un certain suivi de la santé de la population et de ses comportements quant à la réalisation d'activité physique (loisir et liée aux transports). Cependant, ces données ne sont pas collectées de façon systématique (Camirand & Dumitru, 2008).
Avancées de la recherche : Plusieurs études portent sur l'activité physique et les comportements

quotidiens de mobilité, la santé et le bien-être. Cependant, cet enjeu n'est pas considéré de façon systématique lors de la prise de décision en transport.

Indicateur proposé

Part du nombre de pas quotidien recommandé attribuables aux déplacements.

Hypothèses :

- Les types d'activité physique applicables à un déplacement utilitaire sont :
 - La marche et le vélo.
 - La marche pour se rendre et revenir des arrêts de transport en commun est considérée dans l'estimation. La marche résultant des transferts de ligne est ici négligée en raison d'un manque de données.
 - La marche pour se rendre et revenir à l'automobile stationnée est négligée.
 - D'autres existent, tel que le patin à roues alignées, la course à pied, la planche à roulettes et la trottinette, mais ils sont ici considérés comme marginaux.

Formulation :

Pour un déplacement :

$$Nb\ de\ pas\ équivalent = \frac{Distance\ trajet_{march}\ (m)}{Foulée\ (\frac{m}{pas})} + Temps\ trajet_{vélo}\ (min) \times F_{éq}\ (\frac{pas}{min})$$

Où la foulée moyenne est déterminée selon l'âge de l'individu;

Où le Facteur d'équivalence $F_{éq}$ pour le vélo, considéré comme une activité modérée, correspond à 4 500 pas pour 15 minutes de vélo, 10 000 pas pour 30 minutes et 13 500 pas pour 60 minutes (Leermakers, Dunn, & Blair, 2000).

Pour un individu (âge et sexe particulier), par jour:

$$Part\ d'activité\ physique\ (\%) = \frac{\sum Nb\ de\ pas\ équivalent}{Nb\ de\ pas\ recommandé\ quotidiennement}$$

Où le nombre moyen de pas quotidiennement recommandé varie selon l'âge et le sexe : 10 000 pas / jour pour les adultes et, pour les jeunes de 6 à 18 ans, 12 000 pas / jour pour les filles et 14 000 pour les garçons (Vuillemin, 2011).

Pour un ménage, un lien, un corridor, un territoire ou un générateur, faire la moyenne des individus étudiés.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Origine et destination des déplacements
 - Caractéristiques de l'individu effectuant le déplacement (âge, sexe)
- Manipulations
 - Affection sur les réseaux de transport

- Calcul du temps de parcours
- Indicateurs traditionnels liés
 - Distance moyenne et temps de trajet par déplacement (marche, vélo)
 - Répartition modale des déplacements courts
 - Nombre de déplacements par personne par jour

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Intégrer la marche pour les transferts entre les lignes de transport en commun et entre les modes de transport.
- Intégrer la marche entre le stationnement automobile et le lieu d'origine ou de destination. Cela implique de développer une méthodologie d'estimation du lieu de stationnement par rapport au lieu de destination.
- Évaluer les possibilités de développer un indicateur basé sur la durée d'activité physique réalisée, par type d'effort et d'intensité. Évaluer également la possibilité de développer un indicateur basé sur les calories dépensées.
- Lier la topographie du lieu à l'effort physique réalisé.
- Intégrer les déplacements d'agrément non collectés actuellement dans les enquête OD.

Indisponibilité en raison des déplacements

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution de la mobilité au temps disponible pour réaliser des activités bénéfiques au bien-être d'un individu. Le temps de déplacement restreint le temps quotidien disponible pour les activités. La perte de temps en déplacement peut être atténuée par des installations propices à la réalisation d'activités lors du déplacement. Les activités lors du déplacement peuvent faire appel à différentes facultés : mentales (repos, relaxation, réflexion, introspection, méditation, etc.), auditives (musique), visuelles (lecture, film, jeux vidéo, etc.) ou autre (dessin, écriture, conversation, etc.). Moins le déplacement demande de la concentration, d'attention et de prise de décision, autrement dit plus l'individu est passif par rapport à la tâche de se déplacer, plus il a la possibilité de réaliser une activité durant le déplacement.

Variations : Le temps indisponible en raison de la réalisation du déplacement varie...

- ...dans l'espace (le temps de trajet dépend de la distance parcourue, qui varie dans l'espace),
- ... dans le temps (le temps de trajet varie selon l'heure de la journée, le type de jour et la saison),
- ... selon la perception des usagers (la notion de ce qui est une activité valorisée ou non).

Possibilité de collecte de données: Il n'existe pas de base de données sur les activités réalisées lors du déplacement.

Avancées de la recherche : Peu de recherches existent sur les activités possibles lors du déplacement, et leur valeur du point de vue des individus.

Indicateur proposé

Temps de trajet excluant le temps actif (vélo, marche) et le temps comme passager.

Hypothèses :

- Le temps de déplacement enlève du temps disponible à la réalisation d'activités plus valorisées. Certaines formes de mobilité permettent toutefois de valoriser le temps en déplacement :
 - Le temps de déplacement alloué à la marche ou vélo n'est pas perdu, car il permet à l'individu de réaliser de l'activité physique,
 - Le temps comme passager d'une automobile ou du transport en commun n'est pas perdu, car il ne nécessite pas la concentration de l'individu,
 - Le temps assis comme conducteur est habituellement moins valorisé, car il requiert la concentration de l'individu à cette tâche.

Formulation :

Pour un déplacement :

$$\text{Indisponibilité (min)} = \text{Temps}_{\text{dépl.}} - \text{Temps}_{\text{mode actif}} - T_{e \text{ passager}}$$

Pour un individu : Somme des temps indisponibles en déplacement, par jour.

Pour un ménage, un générateur ou un territoire, faire la moyenne des individus étudiés.

Pour un lien ou un corridor :

$$\text{Indisponibilité} = \sum (\text{Volume} - \text{heure dép. indisponible})$$

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Origine et destination des déplacements
 - Mode transport utilisé
- Manipulations
 - Affection sur les réseaux de transport
 - Calcul du temps de parcours
- Indicateurs traditionnels liés
 - Répartition modale
 - Distance moyenne et temps de trajet par déplacement
 - Nombre de déplacements par personne par jour

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Développer un indice sur la diversité d'activités possibles relativement au confort et à la concentration requise lors du déplacement, par type de mode (écoute de musique, chaleur, espace-table à disposition, internet, etc.).
- Intégrer le confort selon l'heure et le type de jour. Pour le transport en commun, cela concerne le taux de remplissage du véhicule, qui affecte la position (assis/debout) et donc les activités possibles.

Richesse et diversité des outils d'information à l'utilisateur

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution des systèmes de transport aux renseignements sur les moyens possibles d'accéder aux activités. La diffusion d'information à l'utilisateur permet à ce dernier de se familiariser avec et d'utiliser un réseau de transport. Les outils d'information devraient être diversifiés et facile d'utilisation. L'information peut se retrouver sur différentes plates-formes (sur le véhicule, à l'arrêt, sur la route, sur Internet, etc.), ainsi qu'être statique (panneau fixe) ou dynamique (en temps réel). Un manque d'information risque de diminuer l'attractivité au réseau, voir même jusqu'à rendre le réseau inaccessible. Deux volets principaux peuvent être mesurés : la qualité du service prévu et celle du service réel.

Variations : L'information à l'utilisateur varie...

- ... dans l'espace (signalisation, publicité),
- ... selon la perception des usagers (qualité, convivialité et simplicité du service d'information).

Possibilité de collecte de données: La diffusion ou non d'information, ainsi que la quantité d'outils à disposition des usagers, est relativement facile à mesurer. Cependant, il est beaucoup plus difficile de juger de la qualité de cette information.

Avancées de la recherche : Peu de recherche existe sur la mesure de la qualité de l'information à l'utilisateur.

Indicateur proposé

Indice de la quantité et de la diversité des outils d'information à l'utilisateur.

Hypothèses :

- La quantité et la diversité des outils qui contiennent l'information sur le service offert reflètent en partie la qualité de l'information donnée à l'utilisateur.

Formulation :

Pour chaque réseau de transport d'un territoire étudié, un indice cumulant un pointage pour ...

- ... des types de plates-formes :
 - statique (panneaux d'indication, Internet, données libres),
 - temps réel (radio, Internet, messages textes, courriel, téléphone, données libres).
- ... des types d'information :
 - planifier le chemin emprunté (le trajet),

- grille tarifaire,
- accéder au réseau,
- cheminer à l'intérieur du réseau.

- ... l'intégration de plusieurs modes à l'intérieur d'un outil tarifaire et un de calcul de trajet.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données :
 - Information sur les opérateurs des réseaux de transport

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Étudier les façons d'attribuer un tel pointage et de faire l'agrégation en un seul indice.
- Évaluer la qualité de l'information diffusée en fonction des différents types d'usagers.

Intensités de service, options de transport et équité d'accès

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution des systèmes de transport à offrir un éventail de possibilités pour réaliser le trajet entre une origine et une destination, ainsi que l'équité de la distribution de cette offre parmi la population.

Variations : L'intensité et la diversité de l'offre de service, ainsi que l'équité d'accès, varient...

- ... dans l'espace puisque l'offre de service varie dans l'espace,
- ... dans le temps (l'offre de service varie selon l'heure de la journée et le type de jour).

Possibilité de collecte de données : Beaucoup de données statiques sont pour la plupart déjà disponibles pour la plupart des réseaux. Les réseaux cyclables et piétonniers sont pourtant à bonifier. Les données dynamiques sont plus difficiles à obtenir, notamment pour le réseau routier (congestion) car elles ne sont pas planifiées. Pour le transport en commun, les GTFS sont disponibles.

Avancées de la recherche : La mesure de l'offre de service est généralement statique, et doit devenir dynamique (variant dans l'espace et le temps). Également, les modes actifs ou émergents sont peu souvent considérés. Un des défis est de créer un seul indice intégrant les différents modes et reflétant la diversité des options de transport.

Indicateurs proposés

Intensités de service pour chaque mode de transport

Indice des options de transport, agrégeant les intensités de services de tous les modes de transport

Indice Gini mesurant la distribution des segments de population vulnérable par rapport à l'offre

Hypothèses :

- L'accessibilité aux opportunités augmente avec un meilleur accès aux modes de transport à domicile.
- L'accès à une plus grande diversité de modes de transport augmente les options de transport. Cela favorise un choix modal rationnel pour chaque déplacement.

- Les segments de population vulnérables ne doivent pas dépendre uniquement de l'automobile car c'est un mode coûteux individuellement.

Formulation :

Chaque réseau de transport offre un service associé à un territoire donné. Ce territoire est une zone autour du domicile. Il varie selon le réseau de transport, et représente une distance acceptable qu'un individu est prêt à parcourir pour entrer dans le réseau. Le mode utilisé pour accéder au réseau varie. Par exemple, on accède aux autoroutes en utilisant une automobile, alors qu'on marche pour se rendre à la station de métro. Pour les déplacements (origine), les générateurs, les individus et les ménages (domicile), la zone d'accès étudiée est circulaire et de rayon variant selon le réseau. Les rayons proposés sont inscrits au Tableau 11.

Tableau 11 : Zones et intensité de service des réseaux de transport

Réseau de transport	Mode d'accès au réseau	Rayon définissant la zone autour du domicile	Intensité de service		
			Statique	Dynamique	Aspects à intégrer
Autoroute	Auto	1 000	Nb entrées et sorties	Km-h non congestionné	
Bus	Marche	500	Arrêts-lignes	Passages-arrêts	
Métro	Marche Vélo	750 1 000	Stations-lignes	Passages-arrêts	
Train de banlieue	Auto Marche Vélo	2 000 750 1 000	Stations-lignes	Passages-arrêts	
Cyclable	Vélo	500	Longueur avec poids selon le type de voie		Tortuosité des voies Nb d'intersections (par type)
Auto-partage	Marche	750	Véhicules	Véhicules-heures disponibles	
Vélo-partage	Marche	300	Ancrages	Vélo-heures disponibles / Ancrages-heures vides*	
Piéton	Marche	1 000	Longueur des trottoirs**		Tortuosité des voies Nb d'intersections (par type) Avancées de trottoir
Taxi	Auto / aucun	1 000	Nb aires d'attente de taxi		Temps d'attente après appel et sur la rue

* Une station équilibrée offre un meilleur service qu'une station toujours pleine ou vide.

** Distinguer entre les rues avec aucun trottoir, un trottoir d'un seul côté et un des deux côtés.

L'étude d'un territoire complet se fait grâce à la moyenne des accès des personnes qui y résident, en utilisant les domiciles.

Dans la zone étudiée et pour chaque réseau de transport, le service offert est représenté par une intensité de service. Le Tableau 11 rapporte des exemples d'intensité de service statiques et dynamiques pour chaque réseau de transport. Les indicateurs dynamiques permettent d'agréger l'intensité de service selon la période horaire à l'étude (24 heures, périodes de pointe, horaire, type de jour).

L'indice des options de transport agrège les intensités de service des réseaux présentés précédemment. Il s'agit de faire la somme des catégories d'intensité de service de chaque réseau. Les catégories (0 à 4) sont fonction des quartiles des distributions de l'intensité de service.

Quant à l'indicateur d'équité d'accès, il nécessite d'abord la définition de segments de population vulnérables socialement. L'aspect de vulnérabilité peut être attribué d'après l'accès restreint à l'automobile (en fonction de l'âge, de la motorisation ou du permis de conduire), le sexe des individus ou le revenu du ménage (ménages à faible revenu ou monoparentaux). Ensuite, l'indice de Gini appliqué aux options de transport et aux intensités de service, et ce par segment de population, donne un aperçu de l'équité de la distribution autour des services offerts. Pour plus de détails méthodologiques, consultez le chapitre 6 du présent document.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données :
 - Information statique et dynamique sur l'offre de service, par réseau
 - Domiciles des ménages, origine des déplacements

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Indicateurs d'accessibilité :
 - Changer la zone circulaire basée sur le rayon pour une zone représentant un temps de marche, à vélo ou en automobile.
 - Pour les liens et les corridors, étudier les définitions possibles d'intensité de service et des zones considérées.
 - Étudier les possibilités d'intégrer la notion de multimodalité, la disponibilité de places de stationnement, le transport adapté.
 - Passer à des indicateurs axés sur les opportunités atteignables, comme le nombre d'opportunités pour un temps de trajet déterminé par le mode emprunté. Les opportunités ne varient pas nécessairement seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps si l'on considère les heures d'ouverture.
- Indicateurs d'équité :
 - Tester la sensibilité de l'indice Gini, et voir au développement d'autres indices d'équité.

Établir une structure des réseaux à considérer selon le segment de population étudié. En effet, les segments de population ont des contraintes particulières, Par exemple, les jeunes ne peuvent posséder de permis de conduire, et donc l'étude de leur accès à l'auto-partage n'a aucun intérêt.

Matière désuète et efficacité de récupération

Généralités

Objectif général : Évaluer la quantité de déchets provenant des véhicules, ce qui implique également la connaissance de la proportion des déchets recyclés.

Variations : Les matières désuètes et l'efficacité de récupération varient...

- ... dans l'espace, en raison des différents programmes de recyclage.

Possibilité de collecte de données : Les données existent probablement au ministère de l'environnement, du développement durable et des parcs (MDDEP). Le défi est donc de récupérer ces données et de les mettre au profit du secteur des transports.

Avancées de la recherche : La consommation de matériaux issus des véhicules est peu prise en compte actuellement.

Indicateur proposé

Quantité de matières désuètes (véhicule, pneus et huiles usés) et proportion de ces matières qui sont recyclées ou réutilisées.

Hypothèses :

Les véhicules, les pneus et les huiles usés sont répertoriés. Une partie des matériaux est recyclée ou réutilisée à d'autres usages. Le reste se retrouve dans les sites d'enfouissement.

Formulation :

- Territoires :

$$\begin{aligned} \text{Quantité matière désuète}_s &= \text{Quantité de matières usées ou hors d'usage}_s \\ &\quad - \text{Quantité de matières recyclées}_s \end{aligned}$$

$$\text{Efficacité de récupération}_s = \frac{\text{Quantité de matières recyclées ou réutilisées}_s}{\text{Quantité de matières usées ou hors d'usage}_s}$$

- Soit un véhicule dont l'entretien produit la quantité moyenne de déchets (pneus, huiles) $\text{Matière usée}_{\text{véh } vie}$ durant sa durée de vie utile moyenne t_{vie} (correspondant à un kilométrage de vie utile $\text{Distance}_{\text{véh } vie}$) :

$$\begin{aligned} \text{Quantité de matière désuète} &= \frac{\text{Distance}_x}{\text{Distance}_{\text{véh } vie}} \times \text{Matière usée}_{\text{véh } vie} \times (1 \\ &\quad - \text{Efficacité de récupération}_s) \end{aligned}$$

Où Distance_x :

→ Déplacement : $\text{Distance}_x = \text{Distance de trajet}$

→ Individu, Ménage, Générateur : $Distance_x = \sum Distance\ de\ trajet$ pour les déplacements lors d'un jour moyen de semaine

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Inventaire des véhicules hors d'usage, ainsi que des huiles et des pneus usés
 - Inventaire des matières récupérées pour réutilisation et recyclage
 - Kilométrage moyen correspondant à la durée e vie utile d'un véhicule
 - Quantité moyenne de déchets (véhicule, pneus, huiles) durant la durée de vie utile d'un véhicule
 - Origine et destination des déplacements
- Manipulations
 - Affectation sur le réseau et calcul de distances de trajet

Limites améliorations possibles et perspectives :

- Cet indicateur exclut la construction, l'opération et l'entretien liés aux infrastructures. Étudier la pertinence et la possibilité d'intégrer d'autres objets que les véhicules.
- Faire une distinction entre les matières désuètes mises au dépotoir conventionnel, les matières dangereuses récupérées pour entreposer de façon sécuritaire (sans réutilisation) et les matières recyclées ou revalorisées à d'autres usages.
- Développer une méthodologie d'estimation pour les liens et les corridors.
- Intégrer les autres modes de transport (autobus, vélos, souliers, etc.).

Utilisation d'espace et taux d'utilisation de l'emprise au sol

Généralités

Objectifs généraux :

- Évaluer la contribution de la mobilité à l'occupation d'espace au sol et à la minéralisation de cet espace.
- Évaluer l'efficacité d'utilisation des infrastructures qui occupent de l'espace au sol et minéralisent ce dernier.

Variations : L'utilisation de l'emprise au sol réservée aux infrastructures de transport varie ...

- ... dans l'espace, selon l'achalandage du réseau. La surface au sol occupée par ces infrastructures varie également que dans l'espace, déterminée par leur présence ou leur absence.
- ... dans le temps, selon la distribution des heures de départ des déplacements des individus, de même que la variation horaire des voies de circulation dédiées à un mode de transport particulier.

Possibilité de collecte de données : Les données de localisation et de caractérisation des voies de circulation sont disponibles. Dans le cas de l'automobile, l'information sur les stationnements (sur

rue ou hors-rue) est plus compliquée à compiler. Quant à l'utilisation de ces infrastructures, elle peut être estimée à partir de comptages ou d'échantillons de données sur les déplacements, lorsqu'ils existent.

Avancées de la recherche : Les indicateurs sur l'occupation du sol consistent habituellement en l'emprise au sol du réseau routier (ou la surface par habitant). Quant à l'utilisation des voies de circulation, les modèles d'estimation de la demande pour l'automobile et le transport en commun (et sa distribution sur le réseau) sont développés depuis longtemps (et sont en constante évolution). Un intérêt grandissant se fait sentir pour les stationnements automobiles.

Indicateurs proposés

(a) Emprise au sol occupée par les voies de circulation et les stationnements par passager-kilomètre, par réseau de transport.

(b) Surface-heure réservée (occupée par le véhicule ou en attente de l'être) par passager.

Hypothèses :

- On cherche à maximiser le nombre de passagers tout en minimisant la surface occupée. Les situations à éviter sont :
 - Un espace vide (réservé en vue d'être utilisé),
 - Un espace rempli par des véhicules immobiles (en congestion ou stationné).
- (a) L'emprise au sol rend compte de la surface réelle allouée à la circulation et au stationnement, utilisée ou non. Le fait de diviser par des passagers-kilomètres permet d'estimer le taux d'utilisation de cette emprise. Également, les différents réseaux de transport peuvent être comparés entre eux.
- (b) La surface-heure réservée est le cumul du temps où les surfaces de stationnement et de circulation sont allouées à un déplacement et au véhicule qui lui est associé, s'il y a lieu.

Formulations :

(a) Soit le réseau de transport i :

$$\begin{aligned} & \text{Taux de l'utilisation de l'emprise au sol}_i \\ &= \frac{\text{Emprise des voies de circulation}_i}{\text{Passagers}_i} + \frac{\text{Emprise des stationnements}_i}{\text{Passagers}_i} \end{aligned}$$

Cette formule s'applique pour tout territoire, lien ou corridor. Pour les générateurs de déplacements, les personnes et les ménages, seule la partie sur le stationnement s'applique. Elle ne s'applique pas aux déplacements.

Le nombre de passagers correspond à l'achalandage du réseau. L'emprise au sol des stationnements automobile et cyclable n'est probablement pas une donnée connue pour la plupart des territoires.

(b) Soit le déplacement j effectué à l'aide du réseau de transport i :

$$\begin{aligned} & \text{Surface – heure réservée} \\ &= \text{Surface – heure de stationnement (occupé + attente)}_{origine} \\ &+ \text{Surface – heure en circulation} \\ &+ \text{Surface – heure de stationnement (occupé + attente)}_{destination} \end{aligned}$$

Où

$$\text{Surface – heure de stationnement occupé} = \frac{\text{Surface du stationnement} \times \text{Durée de stationnement}}{\text{Nombre de passagers / véhicule}}$$

$$\text{Surface – heure de stationnement en attente} = \frac{\text{Surface du stationnement} \times \text{Durée d'attente du véhicule}}{\text{Nombre de passagers / véhicule}}$$

$$\text{Surface – heure de circulation} = \frac{\text{Surface du véhicule} \times \text{Durée de déplacement}}{\text{Nombre de passagers / véhicule}}$$

Ces formules s'appliquent pour un déplacement. Le cumul permet d'estimer l'indicateur pour une personne ou un ménage. Pour les territoires et les générateurs de déplacements, il est possible de faire une moyenne par personne. Ces formules ne s'appliquent pas aux liens et aux corridors.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - (a) Longueur et largeur des voies de circulation, des voies d'accotement et des stationnements.
 - (a) Nombre de déplacements ou achalandages (en personnes).
 - (b) Origine et destination des déplacements, mode de transport et durée d'activités
 - (b) Taille des véhicules et taux d'occupation (ou taux de remplissage)
 - (b) Type d'espace de stationnement (partagé ou non)
- Manipulations
 - Affectation sur le réseau et calcul de chemin, afin d'estimer la durée de déplacement (si elle n'est pas déclarée)

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Analyser la sensibilité des indicateurs proposés. Cet indicateur devrait permettre d'intégrer les réseaux de transport émergent et non conventionnels, comme le taxi, l'autopartage et le vélopartage.
- Améliorer les données sur les surfaces de stationnements actuellement existants.
- Améliorer l'information sur les voies de circulation et de stationnement à usage partagé. Étudier comment les insérer dans les calculs. Par exemple, durant certaines heures, des voies d'autoroutes sont réservées aux bus ou au covoiturage. Aussi, certains stationnements sont partagés par des entreprises aux horaires différents (jour/nuit) se qui maximise l'utilisation de l'espace.

Quantité et efficacité d'utilisation d'énergie

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution de la circulation des véhicules à la consommation d'énergie, et ce pour les différentes sources d'énergie (carburants fossiles, électricité, etc.). L'approche met de l'avant le lien avec la consommation de ressources naturelles.

Variations : La quantité et l'efficacité d'utilisation d'énergie varient...

- ... dans l'espace, car elle dépend de la distribution spatiale des types de véhicules - et donc leur taux de consommation -, de la distance parcourue et du taux d'occupation des véhicules,
- ... dans le temps, car la température dicte l'utilisation du chauffage et de l'air climatisé, qui font varier le taux de consommation de carburant.

Possibilité de collecte de données : La quantité totale de carburant vendu est disponible. Cependant, cette donnée est trop agrégée, comprenant tous les véhicules sans distinctions. Ceci est un obstacle pour les analyses sur la contribution individuelle. La quantité d'électricité consommée pour recharger les véhicules n'est pas disponible.

Avancées de la recherche : De nombreuses et récentes recherches s'intéressent à l'estimation de la consommation d'essence. Les autres sources d'énergie sont moins étudiées, étant donné leur faible part dans la flotte actuelle de véhicules.

Indicateurs proposés

Consommation totale d'énergie, par source d'énergie

Consommation totale d'énergie par passager-km, par source d'énergie

Hypothèses :

- L'énergie du corps humain à la base des modes actifs (marche, vélo) est exclue, car elle ne consomme pas de ressource naturelle.
- La quantité totale d'énergie reflète la pression exercée sur les ressources naturelles, captant à la fois les effets d'augmentation de population et d'allongement des distances parcourues.
- La consommation d'énergie par passager-km, ou l'efficacité de consommation d'énergie, exclut les variations de population et de distances parcourues. Seule l'évolution du parc de véhicules et du taux de remplissage des véhicules apparaissent. Cet unité rend possible la comparaison entre différents modes de transport.
- L'indicateur n'agrège pas les types d'énergie.
- Automobile : Étant donné que l'enquête Origine-Destination ne collecte pas d'information sur le type d'automobile possédée, le taux de consommation associé à un véhicule est équivalent à la moyenne pour les véhicules immatriculés dans un territoire du domicile (zonage le plus fin possible).

Formulation :

Pour un déplacement AUTOMOBILE :

- Soit un type de véhicules i (électrique, hybride, essence, diesel, ...) ayant un taux de consommation moyen d'énergie j (type de carburant ou électricité)
 - tv_j en ville et
 - tr_j sur la route.
- Soit un territoire S du domicile de la personne réalisant le déplacement sur lequel sont immatriculés un nombre total N_i de véhicules de type i . La proportion de véhicules de type i se calcule ainsi :

$$P_{i,S} = \frac{N_i}{\sum N_i}$$

- Soit la distance de trajet $dist_trajet$ divisée en deux, en raison de taux de consommation moyens différents selon les conditions de ville ou d'autoroute :
 - la distance parcourue en ville ou sur autoroute sous congestion $dist_ville_{\acute{e}q}$ est associée au taux de consommation tv_j
 - la distance parcourue sur autoroute sans congestion $dist_route_{\acute{e}q}$ est associée au taux de consommation tr_j .

- Pour chaque énergie j est associée une quantité consommée :

$$\acute{E}nergie\ consomm\acute{e}e_j = \sum (P_{i,S} \times dist_ville_{\acute{e}q} \times tv_j) + \sum (P_{i,S} \times dist_route_{\acute{e}q} \times tr_j)$$

- Soit l'efficacité énergétique dudit déplacement $Efficacite_energie$,

$$Efficacite_energie_j \left(\frac{l\ ou\ kWh}{pass - km} \right) = \frac{\acute{E}nergi\ consomm\acute{e}e_j (l\ ou\ kWh)}{dist_{trajet}(km) \cdot Taux\ occupation_{veh,t} \left(\frac{passagers}{v\acute{e}hicule} \right)}$$

- Pour un individu, un m\u00e9nage, un g\u00e9n\u00e9rateur, un territoire, un lien ou un corridor :
 - Faire la somme pour tous les d\u00e9placements pour l'\u00e9nergie totale consomm\u00e9e;
 - Faire la somme des distances de trajet pour l'efficacit\u00e9 \u00e9nerg\u00e9tique.

Pour un d\u00e9placement TRANSPORT EN COMMUN :

- Soit une ligne de transport en commun *ligne* desservie par un v\u00e9hicule de type i ayant un taux de consommation d'\u00e9nergie j moyen :
 - $t_{i,p}$ pour le kilom\u00e9trage productif,
 - $t_{i,imp}$ pour le kilom\u00e9trage improductif (haut-le-pied).
- Son trajet est compos\u00e9 de N arr\u00eats et donc de $(N-1)$ segments de ligne :
 - Distance productive de la ligne d_prod ,
 - Distance improductive de la ligne d_improd .

- Chaque segment de ligne SL de longueur d_{SL}

→ Improductivité liée au segment de ligne :

$$d_{improd_{SL}} = \frac{d_{SL}}{d_{prod}} \times d_{improd}$$

→ Énergie consommée pour le segment de ligne :

$$\text{Énergie consommée}_{SL,j} = (d_{improd} \times t_{i,imp}) + (d_{prod} \times t_{i,p})$$

→ Efficacité énergétique du segment de ligne :

$$\text{Efficacite_energie}_{SL,j} = \frac{(d_{improd} \times t_{j,i,imp}) + (d_{prod} \times t_{j,i,p})}{d_{SL} \cdot \text{Taux de remplissage}_{SL}}$$

→ Idéalement, le taux de remplissage est une moyenne pour le segment de ligne et l'heure d'emprunt de la ligne. La donnée peut cependant être simplifiée à une moyenne par jour pour la ligne.

- Pour un déplacement, un individu, un ménage, un générateur, un territoire, un lien ou un corridor :

→ Faire la somme de tous les segments de lignes empruntés lors des déplacements pour l'énergie totale consommée de type j ;

→ Pour l'efficacité énergétique, faire la moyenne des efficacités pondérées par la distance du segment de ligne :

$$\text{Efficacite_energie}_j = \sum \left(\text{Efficacite_energie}_{SL,j} \times \frac{d_{SL}}{\text{distance totale de parcours}} \right)$$

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Origine et destination des déplacements, par mode
 - Taux d'occupation des véhicules
- Manipulations
 - Affectation sur le réseau et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Étudier les possibilités de développer un indice agrégeant tous les types d'énergie.
- La méthodologie ci-haut proposée peut être raffinée ou simplifiée au besoin, en utilisant des données plus ou moins désagrégées.
- Étudier la variation temporelle et spatiale du taux de remplissage des véhicules de transport collectif. L'efficacité énergétique varierait ainsi dans le temps (horaire et type de jour).

Quantité et équité de distribution des émissions de polluants

Par polluants, on entend :

- les polluants émis dans l'air (NOX, COV, CO, SO₂, particules fines, plomb, HAP et HAM) par la circulation des véhicules motorisés;
- le bruit émis par la circulation des véhicules motorisés;
- les polluants se retrouvant dans l'eau suite au ruissellement (circulation, entretien et stationnement);
- la lumière émise par les infrastructures de transport, les stationnements et la circulation des véhicules motorisés;
- la nuisance à la beauté du paysage.

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution de la mobilité à l'émission de polluants, ainsi que la dispersion de ces polluants et l'équité de distribution de la population autour de ces polluants.

Variations : La quantité d'émissions varie ...

- ... dans l'espace, car elle dépend de la distribution spatiale des types de véhicules - et donc leur taux d'émission -, de la distance parcourue et du taux d'occupation des véhicules,
- ... dans le temps, car la température dicte influence le taux d'émission et la dispersion des polluants,
- ... selon la perception, car les individus perçoivent différemment le bruit, la lumière et le paysage.

Possibilité de collecte de données : Les émissions atmosphériques à la source des véhicules sont largement étudiées en laboratoire, mais moins bien en situation réelle. Les données sur la concentration de polluants atmosphériques ou le niveau de bruit ambiant sont collectées. Cependant, la contribution des transports est plus difficile à isoler. Il n'existe pas de collecte de données sur la luminosité ou l'impact sur le paysage.

Avancées de la recherche : Les modèles d'émissions de bruit et de polluants atmosphériques existent. Les quantités produites sont estimées à partir des modèles d'affectation des déplacements sur le réseau. Bien que les modèles de dispersion existent, il est difficile de reproduire la réalité sans inclure les autres sources de polluants, qui influencent les dynamiques de dispersion.

Indicateur proposé

- (a) Quantité de polluants émis par la circulation des véhicules (tonnes de polluants).
- (b) Quantité de polluants émis par la circulation des véhicules par passager-kilomètre.
- (c) Indice de Gini appliqué à la distribution de la population par rapport aux émissions de polluants.

Hypothèses :

- (a) L'efficacité d'émissions par passager-kilomètre permet de comparer les modes entre eux.
- (c) Puisqu'il est difficile d'isoler la contribution des transports dans les modèles de dispersion, seule le lieu d'émission est ici pris en compte.

Formulation :

(a, b) Indicateur de quantité et d'efficacité : Formulation identique aux indicateurs sur l'énergie.

(c) Indicateur d'équité : Formulation identique à l'indicateur d'équité d'accès, mais appliqué à l'émission.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Origine et destination des déplacements, par mode
 - Taux d'occupation des véhicules
- Manipulations
 - Affectation sur le réseau et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Développer une mesure de la lumière émise la nuit par la circulation des véhicules motorisés et par le système d'éclairage du réseau.
- Développer une mesure du niveau de beauté des infrastructures, selon la perception des citoyens.
- Développer une mesure de la quantité de polluants émis dans l'eau (sel, métaux lourds, hydrocarbures) en raison de l'entretien des infrastructures.
- Développer la possibilité d'intégrer les émissions de polluants atmosphériques en un seul indice.

Quantité et efficacité des émissions de gaz à effet de serre

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution de la mobilité à l'émission de gaz à effet de serre (GES).

Variations : La quantité d'émissions varie ...

- ... dans l'espace, car elle dépend de la distribution spatiale des types de véhicules - et donc leur taux d'émission -, de la distance parcourue et du taux d'occupation des véhicules,
- ... dans le temps, car la température dicte influence le taux de consommation de carburant.

Possibilité de collecte de données : Les émissions atmosphériques à la source des véhicules sont largement étudiées en laboratoire, mais moins bien en situation réelle.

Avancées de la recherche : Les modèles d'émissions de GES sont estimées tirées de l'affectation des déplacements sur le réseau. Ces derniers intègrent mal certains facteurs d'influence comme la température du moteur au démarrage, l'utilisation du chauffage ou de l'air climatisé, le type de chaussée et son état, etc.

Indicateur proposé

- (a) Quantité de GES émis par la circulation des véhicules.
- (b) Quantité de GES émis par la circulation des véhicules par passager-kilomètre.

Hypothèses :

- L'efficacité d'émissions par passager-kilomètre permet de comparer les modes entre eux.

Formulation :

Indicateur de quantité et d'efficacité : Formulation identique aux indicateurs sur l'énergie, en remplaçant les taux de consommation par un taux d'émission.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Origine et destination des déplacements, par mode
 - Taux d'occupation des véhicules
- Manipulations
 - Affectation sur le réseau et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- La méthodologie proposée peut être raffinée ou simplifiée au besoin, en utilisant des données plus ou moins désagrégées.

Coûts directs de déplacement et équité de distribution des coûts

Objectif général : Évaluer les dépenses privées liées à la mobilité, et la contribution des systèmes de transport à l'accès financier équitable aux réseaux de transport.

Variations : Les tarifs, et donc les coûts d'utilisation, varient ...

- ... dans l'espace, selon la distance parcourue ou les zones administratives.
- ... dans le temps, selon le type de jour et les heures de la journée.
- ... selon les caractéristiques de l'individu, car certains groupes de population bénéficient de tarifs réduits en raison de leur vulnérabilité sociale ou économique.
- ... selon la fréquence d'utilisation.

Possibilité de collecte de données : Pour le transport en commun, les données tarifaires existent mais sont gérées par des opérateurs différents, ce qui complique la mise en commun de l'information. La même problématique, mais encore plus complexe, se retrouve pour les frais de stationnement.

Avancées de la recherche : La quantification des coûts de déplacement n'est pas un nouvel enjeu. Un des défis principaux est de ramener les coûts dans la même unité temporelle, et ce afin de pouvoir les additionner. Plusieurs coûts sont traditionnellement calculés annuellement, alors que d'autres le sont mensuellement ou au kilométrage parcouru. De plus, certains coûts sont partagés entre les membres d'un même ménage, ou même avec l'employeur (ou tout lieu offrant le stationnement « gratuit » pour l'utilisateur).

Indicateur proposé

- (a) Coût moyen du déplacement, par mode et par segment de population.
- (b) Indice Gini appliqué à la distribution des coûts quotidiens de déplacement.

Hypothèses :

- Tous les coûts sont répertoriés au Tableau 12, soit ceux liés :
 - à la possession d'un véhicule pour l'automobile et le vélo (achat, entretien, permis, assurances),
 - à l'accès aux réseaux de transport en commun, aux réseaux d'un mode partagé ou au réseau routier dans le cas des péages. Le coût peut être par un abonnement ou être payé à la pièce.
 - au déplacement : l'énergie consommée, la durée du déplacement dans le cas des modes partagés et le stationnement si le véhicule est privé.
- Les coûts liés à la marche sont nuls.

Tableau 12 : Types de coûts liés au déplacement (TC = transport collectif)

	Coûts	Distance	Caract. Personne	Autres	Référence logique	Modes applicables
Possession de véhicule	Achat		Revenu	Durée de vie	\$ / Durée de vie (km ou ans) \$ / mois (location)	Automobile Vélo
	Entretien	✓		Pneus Huiles	\$ / km	Automobile Vélo
	Permis				\$/ 2 ans	Automobile
	Assurances	✓	Âge Antécédents		\$ / an	Automobile
Accès au réseau	Abonnement		Âge Statut	Opérateurs	\$ / soirée \$ / semaine \$ / mois \$ / an	TC Autopartage Vélopartage Automobile
	Entrée ou passage	✓	Âge Statut	Parcours	\$ / dépl.	Automobile TC
Déplacement	Énergie	✓	Conduite	Taux de consommation Prix de l'énergie	\$ / km	Automobile Autopartage
	Durée	✓		Parcours	\$ / h	Autopartage Vélopartage
	Stationnement		Statut	Heure Lieu Durée	\$ / h \$ / mois \$ / an	Automobile Vélo

Formulation :

(a) Puisque tous les coûts sont assumés selon des référentiels différents, il importe de les transposer au même référentiel. Idéalement, ce référentiel est le déplacement et la personne :

- Les coûts kilométriques ou à l'heure peuvent facilement être estimés à partir de l'affectation des déplacements sur le réseau utilisé. Pour les véhicules privés, il est nécessaire de diviser les coûts par le nombre de passagers dans le véhicule.
- Les coûts reliés à la possession d'un véhicule sont très difficiles à ramener au déplacement, ou même à la journée. Les assurances varient grandement selon l'âge de l'assuré, le type et l'âge du véhicule, et depuis peu selon le type de conduite et le kilométrage parcouru. L'entretien varie également selon l'âge du véhicule et les accidents. Certains individus achètent leur véhicule alors que d'autres le louent. L'idéal serait d'obtenir une moyenne de ces coûts selon l'âge et le statut (ou le revenu), et ce par kilomètre parcouru.

- Le coût de l'entrée ou de passage dans un réseau est difficile à estimer dans le cas des abonnements. Il faut d'abord que l'information sur la possession d'un abonnement soit disponible (ce qui est le cas dans les enquêtes origine-destination). Ensuite, pour ceux qui ont un abonnement, il est nécessaire de faire des hypothèses sur le nombre d'utilisations sur la période d'abonnement pour calculer un tarif par passage. Ces hypothèses risquent d'être très simplificatrices. Pour les véhicules privés, il est nécessaire de diviser les coûts par le nombre de passagers dans le véhicule.

Les coûts de stationnement ou d'abonnement sont parfois gratuits pour l'utilisateur, mais payés par l'entreprise ou l'employeur. Les enquêtes origine-destination recueillent le type de stationnement et même, parfois, son tarif. Il faudrait estimer une moyenne du coût horaire par type de stationnement. Pour les véhicules privés, il est nécessaire de diviser les coûts par le nombre de passagers dans le véhicule.

Une fois tous les coûts ramenés par personne et par déplacement, il suffit :

- de les additionner pour rendre compte du coût quotidien par personne et par ménage, en divisant par le nombre d'occupants du véhicule.
- de faire une moyenne des coûts pour le territoire ou le générateur de déplacements.

Relativement au lien et au corridor, seuls ceux exprimés selon la distance, la durée ou le passage s'incluent facilement. Pour le stationnement, c'est plus délicat et devrait être étudié.

(b) Indice Gini se basant sur la distribution des coûts quotidiens de mobilité (calculé en a), par segment de population (âge, statut, revenu). La méthodologie à transposer est dans un autre chapitre de la thèse.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Origine et destination, mode des déplacements
 - Âge, statut et revenu de la personne, qui peuvent déterminer le type de véhicule possédé, s'il y a lieu.
 - Type de stationnement, s'il y a lieu
 - Tarifs pour les différents réseaux : péages, tarifs d'entrées et d'abonnement, permis, stationnements, etc.
 - Coûts de possession automobile, ramenés en kilométrage parcouru, par type de véhicule
- Manipulations
 - Si péage seulement : Affectation des déplacements auto sur le réseau routier et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Intégrer à la fois les tarifs à l'unité (utilisation unique) et d'abonnement pour une période variable (semaine, mois, année, etc.)

- Pour les véhicules privés dont l'utilisation est partagée à l'intérieur d'un ménage, étudier la possibilité de répartir les coûts de possession à tous les détenteurs du véhicule.
- Intégrer les modes émergents (autopartage, vélopartage) et le transport adapté
- Comment intégrer les modes émergents si l'analyse est par mode et non par réseau : autopartage vs auto, etc.
- Étudier si l'indice Gini est approprié pour mesurer l'équité de distribution des coûts de déplacements.

Récupération des frais d'utilisation

Les dépenses courantes collectives pour l'opération et l'entretien des réseaux de transport sont mis en relation avec les revenus tirés des tarifs (billet, abonnement, taxe sur l'essence, péages, etc.).

Généralités

Objetif général : Contribution des usagers (grâce à leur mobilité) à l'opération, à l'entretien courant et au maintien des différents réseaux de transport. Cela réfère à la responsabilité financière des biens collectifs.

Variations : On a vu avec l'indicateur précédent que les tarifs, et donc la partie des revenus provenant des usagers. Les coûts varient également ...

- ... dans l'espace, selon le climat et de la géographie (hydrographie et géologie),
- ... dans le temps, selon la durée de vie des infrastructures, leur utilisation et les tarifs d'utilisation.

Possibilité de collecte de données : Pour les systèmes en place, les données financières existent. Pour les nouveaux projets mais aussi pour le maintien des actifs, les hypothèses financières dépendent de la planification des opérations d'entretien des infrastructures et des prévisions de la demande.

Avancées de la recherche : Les coûts de maintien des actifs sont souvent sous-estimés ou remis à plus tard dans les calculs. De plus, la valeur visée pour le taux de récupération des frais d'utilisation est sujet à débat social. En effet, la part des dépenses qui doit être attribuée directement aux usagers et celle attribuée aux différents paliers de gouvernement dépend des points de vue et peut être différente selon le mode de transport.

Indicateur proposé

Taux de récupération des frais d'utilisation (revenus et budget d'opération), par réseau et par type de dépenses (matériaux et main d'œuvre)

Hypothèses :

- Chaque déplacement
 - occasionne un coût de déplacement à l'utilisateur
 - engendre l'utilisation de liens du réseau (distance spécifique et corridors spécifiques).
- Chaque réseau occasionne des coûts d'opération et d'entretien. Ils sont décomposables en autant de liens qui structurent ce réseau.

Formulation :

Soit le lien de réseau i correspondant également à un segment de trajet réalisé par l'individu j lors d'un déplacement. Le budget d'opération et d'entretien Budget :

$$Budget_{réseau} = \sum_i^{N \text{ liens de réseau}} Budget_i$$

Un déplacement effectué par l'individu j a un coût T et une distance totale D . Il se décompose en une série de liens du réseau i empruntés de longueur d_i auxquels est attribué un coût t_i :

$$Budget \text{ alloué au lien } i : t_i = \frac{d_i}{D} T$$

Soit le volume V sur le lien i représenté par la somme des individus j qui l'empruntent lors d'un jour moyen de semaine :

$$Récupération \text{ des frais d'utilisation}_i = \frac{\sum_j^V t_{i,j}}{B_i}$$

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Dépenses de matériaux et de main d'œuvre pour assurer l'opération et l'entretien du service
 - Volumes et débits pour les différents liens du réseau
 - Pour la prévision : Origine, destination et mode emprunté.
- Manipulations
 - Pour la prévision : Affectation sur le réseau et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Cet indicateur est facilement estimable pour un opérateur de transport, dans son ensemble. Sa transposition au déplacement, à l'individu, au ménage, au générateur de déplacement, au lien ou au corridor est plus compliquée et à investiguer.
- Étudier quelles dépenses doivent être incluses dans le calcul.
- Étudier la pertinence d'intégrer les autres sources de financement et d'obtenir ainsi un portrait global.

Contribution du transport au PIB

Généralités

Objectif général : Contribution du secteur des transports à la productivité et à la compétitivité régionale.

Variations : La contribution du transport à la productivité régionale varie...

- ... dans l'espace, selon la distribution de l'offre de transport.

Possibilité de collecte de données : Les données financières et sur les ressources humaines et matérielles existent, et sont répertoriés dans différents bilans annuels des opérateurs. Les répercussions indirectes sont plus difficiles à colliger.

Avancées de la recherche : Plusieurs bilans ont déjà permis d'estimer cette contribution pour le secteur automobile et le transport collectif. Cependant, des études similaires pour les modes actifs et émergents sont encore à réaliser.

Indicateurs proposés

Proportion du Produit Intérieur Brut (PIB) attribuable au secteur des transports, par réseau de transport.

Hypothèses :

L'indicateur devrait tenir compte de :

- La main d'œuvre embauchée pour opérer et entretenir le réseau de transport;
- Le développement urbain induit par la présence d'un axe principal du réseau étudié (artère piétonne, station de métro et de train, etc.).

Formulation :

Traditionnellement, la valeur du PIB est la somme des rémunérations des facteurs de production (salaires et autres revenus bruts avant impôts).

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Employés équivalent temps plein
 - Masse salariale
 - Dépenses de fonctionnement et d'immobilisation

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Cet indicateur est estimable pour un opérateur de transport dans son ensemble. Sa transposition au déplacement, à l'individu, au ménage, au générateur de déplacement, au lien ou au corridor est plus compliquée et à investiguer.

Main d'œuvre disponible pour les générateurs d'emploi

Généralités

Objectif général : Évaluer la contribution de la mobilité à rendre la main d'œuvre disponible pour les générateurs d'emploi.

Variations : La disponibilité de la main d'œuvre varie...

- ... dans l'espace, en fonction de la distribution spatiale de la population active et des lieux d'emploi.
- ... dans le temps, en fonction de la variation de l'offre (horaire, type de jour).

Possibilité de collecte de données : Le recensement ou l'enquête OD sont des sources existantes fournissant les domiciles de travailleurs. Cependant, les données d'emploi par type ne sont pas

disponibles dans l'enquête OD (possibilité de le dériver à étudier). Les données de générateurs d'emploi existent probablement de façon éparse à travers différentes organisations, sans être colligées.

Avancées de la recherche : En recherche et en pratique, ce type d'analyse est réalisé par zone. Le passage à des méthodes désagrégées est plus difficile et moins courant en raison des données qui ne sont pas désagrégées non plus.

Indicateur proposé

Nombre de travailleurs à proximité des générateurs d'emploi. Pour un générateur d'emploi, il s'agit du nombre de personnes actives à l'intérieur d'une surface autour du générateur d'emplois définie par un temps de trajet fixe.

Hypothèses :

- Le temps de trajet doit correspondre au temps maximal acceptable pour se rendre au travail. Il pourrait être égal à la moyenne des temps de trajet pour motif travail dans une région métropolitaine. Pour l'instant, nous proposons ici 45 minutes.
- En supposant que ce temps de parcours est fixe pour tous les modes de transport, la surface géographique autour du générateur d'emploi est moindre plus le mode de transport utilisé est lent. Ainsi, la marche aura une surface plus petite que celle du transport collectif, et donc moins d'emplois.

Formulation :

Soit un mode de transport i générateur d'emplois j :

À partir de la géolocalisation du générateur d'emploi, une surface d'accès $S_{i,j}$ correspondant aux lieux atteignables en 45 min en pointe de l'après-midi.

$Nb\ travailleurs_{i,j} = Nb\ de\ pers.\ actives\ (travailleurs\ ou\ chômeurs)\ résidant\ dans\ S_{i,j}$

Puisqu'il est souhaité d'obtenir un seul indicateur pour un générateur d'emplois, tous les modes de transport peuvent être cumulés :

$$Nb\ travailleurs_j = \sum Nb\ travailleurs_{i,j}$$

Un travailleur peut résider à l'intérieur de plusieurs surfaces d'accès simultanément. Dans ce cas, il sera comptabilisé autant de fois qu'il y a de modes de transport étudiés. Cela devient une façon d'octroyer une disponibilité plus élevée à cette main d'œuvre.

Puisqu'il est souhaité d'obtenir un seul indicateur pour un territoire donné, une moyenne de tous les générateurs d'emplois peut être réalisée.

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Générateurs d'emplois géolocalisés.
 - Distribution spatiale de la population, par type d'occupation (ou d'emploi si possible).
- Manipulations
 - Affectation sur le réseau et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Étudier les différentes façons d'agréger les nombre d'emplois accessibles pour les différents modes de transport.
- Si les données sont disponibles, le nombre d'emplois pourrait être subdivisé par secteur d'activité et correspondre au type d'activité du générateur d'emplois. Étudier diverses façons d'agréger les différents générateurs d'emplois.
- Cet indicateur est estimable pour une région dans son ensemble, à partir des générateurs d'emplois à l'intérieur de cette région. Sa transposition possible au déplacement, à l'individu, au ménage, au lien ou au corridor est plus compliquée et à investiguer.
- Les horaires de travail peuvent varier selon le type de générateur d'emplois. Le temps de trajet ici calculé en pointe d'après-midi pourrait être appelé à varier.
- Les générateurs localisés en périphérie d'une région auront un indicateur plus faible. Ce sera également le cas pour un territoire moins peuplé. Une analyse des conséquences de ces résultats devrait être suivie.

Accidents et leurs victimes par gravité

Cet indicateur aborde un volet de la santé publique qui n'est couvert par aucun autre des indicateurs jusque-là présentés dans le système d'indicateurs. Les accidents touchent également à la quantité de matériaux utilisés et les coûts d'entretien de véhicules, s'il y a lieu.

Généralités

Objectif général : Évaluer la fréquence et la gravité des accidents et de leurs victimes survenant lors des déplacements. On cherche à minimiser les retombées négatives d'accidents survenus lors de déplacements sur la santé physique des individus. On souhaite donc minimiser le nombre de blessures et leur gravité, ce qui implique également de minimiser le nombre et la gravité des accidents.

Variations : La quantité et le niveau de gravité des accidents et de leurs victimes varient dans l'espace et dans le temps, selon notamment la géométrie du réseau, la température et l'état de la chaussée, la vitesse et le volume d'utilisation.

Quant au sentiment de sécurité, il est relié au nombre réel d'accidents mais est également sujet à la perception des usagers.

Possibilité de collecte de données : Les données sur les accidents de la route, notamment dans les rapports de police. Puisqu'ils ne sont initialement pas compilés à cette fin, ils ne sont pas géolocalisés automatiquement et cette tâche peut actuellement s'avérer complexe. Quoiqu'il en soit, tous les données sont compilées annuellement pour donner le nombre d'accidents et de blessés par type de gravité, avec les modes de transport impliqués.

Avancées de la recherche : La comparaison entre les différents modes de transport n'est pas aisée. Les accidents sans victime ou avec victimes faiblement blessées sont moins répertoriés, voir aucunement dans le cas des modes actifs, parce qu'il n'y pas de bri matériel. De plus, la quantité d'accidents dépend de l'utilisation du mode.

Indicateurs proposés

Indice des accidents par passager-kilomètre, par mode de transport

Indice des victimes par passager-kilomètre, par mode de transport

Hypothèses :

- Pour chaque mode, les passagers-kilomètres sont estimés à partir d'une affectation des déplacements sur le réseau.
- Un poids β pour chaque type de gravité est appliqué afin d'intégrer en un seul indice tous les types de gravité.

Formulation :

Pour un territoire donné et un mode de transport i ,

$$\begin{aligned} \text{Nombre de victimes pondéré}_i &= \beta_{\text{lég}} \times \text{Nb blessés légers}_i + \beta_{\text{moy}} \times \text{Nb blessés moyens}_i + \beta_{\text{grav}} \\ &\times \text{Nb blessés graves}_i + \beta_{\text{décès}} \times \text{Nb décès}_i \end{aligned}$$

Où, par exemple, $\beta_{\text{lég}}$ est égal à 1/10, β_{moy} à 2/10 et β_{grav} à 3/10 et $\beta_{\text{décès}}$ à 4/10.

$$\text{Indice des victimes}_i = \frac{\text{Nombre de victimes pondéré}_i}{\text{Pass} - \text{km}_i}$$

Pour agréger tous les modes, additionner les victimes et les passagers-kilomètres totaux.

Cette méthode peut être transposée :

- pour les liens ou les corridors de transport si les accidents ont été géolocalisés
- pour les accidents en remplaçant les blessés par le nombre d'accidents

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Accidents et victimes par gravité, avec les modes de transport impliqués et le lieu
 - Origine et destination des déplacements
- Manipulations
 - Affectation sur le réseau et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Cet indicateur est estimable pour une région dans son ensemble, à partir des générateurs d'emplois à l'intérieur de cette région. Sa transposition possible au déplacement, à l'individu, au ménage et au générateur de déplacement est plus compliquée et à investiguer.
- Afin de faire de la prévision ou de la planification d'interventions, développer pour l'indicateur une méthodologie d'estimation sensible à ces paramètres :
 - Le nombre d'accidents dépend des caractéristiques du réseau (dévers de la route, visibilité, etc.), les caractéristiques du véhicule (pneus lisses, etc.), du débit d'entité en mouvement (véhicule ou piéton), de la vitesse du véhicule, des conditions météorologiques qui affectent le coefficient de frottement de la chaussée et la visibilité.

- Le nombre de victimes dépend du taux d'occupation du véhicule et du débit d'entité en mouvement (véhicule ou piéton).
- La gravité de blessure des victimes dépend de la vitesse du véhicule, des caractéristiques du véhicule (coussin gonflable, etc.) ou de l'absence de véhicule (piéton).

Niveau de congestion des routes principales

Généralités

Objectif général : Évaluer la congestion sur les réseaux de transport, soit les retards causés par un volume trop élevé sur le réseau.

Variations : La congestion varie...

- ... dans l'espace, selon le nombre d'origines et de destinations, ainsi que les choix de modes et de chemins empruntés.
- ... dans le temps, selon les variations des heures de départ des déplacements.
- selon la perception des usagers, car l'attente des usagers vis-à-vis la performance du réseau change en fonction des caractéristiques de l'individu et du déplacement.

Possibilité de collecte de données : Les données existantes sur les vitesses sont multiples (provenant des GPS ou de téléphones dans les véhicules), et comportent chacun leur biais respectif.

Avancées de la recherche : Plusieurs études sont en cours pour valoriser les différentes bases de données de vitesses existantes. Cependant, ces indicateurs sont axés sur l'observation et le suivi de la congestion. Une fois l'analyse faite sur les tendances et variations de la congestion, la prévision et la comparaison de scénarios pourra être envisagée.

Indicateurs proposés

(a) Kilomètres-heures de congestion

(b) Délai : moyenne et variabilité

Hypothèses :

- (a) Une augmentation de l'étendue ou de la durée de la congestion fait augmenter le numérateur. Le kilométrage doit tenir compte du nombre de voies, ce qui intègre les voies réservées au transport en commun.
- (b) Le réseau est découpé en tronçon égaux de 1 km de longueur. Le temps de parcours est égal à 1 sur la vitesse. Pour un tronçon, le délai représente le temps de parcours observé moins le temps de parcours attendu par les usagers. La variabilité du délai rend compte de la fiabilité du réseau.

Formulation :

(a) Soit un tronçon i avec n voies, de longueur l_i et étudié pour la période de temps t .

Soit la vitesse seuil de congestion S_i déterminée d'après la période de temps t et l'attente des usagers pour ce tronçon (en fonction par exemple de sa position par rapport au centre d'activité) :

$$\text{km} - h \text{ congestion}_i = \text{long}_i \cdot \text{nvoies}_i \cdot t \text{ où (vitesse moyenne} < S_i)$$

Cet indicateur pourrait être dérivé pour différents niveaux de congestion (faible, modérée, élevée).

Une somme permet de calculer l'indicateur pour un lien, un corridor ou un territoire.

Pour s'appliquer aux déplacements, aux individus et aux ménages, on peut estimer la proportion des déplacements (en kilomètres) qui est réalisée en utilisant des tronçons congestionnés, en s'assurant que l'heure de passage sur le tronçon correspond à un moment où le tronçon est congestionné.

$$\text{Contribution à la congestion} = \frac{\text{Distance réalisée sur un tronçon congestionné}}{\text{Distance totale de parcours}}$$

(b) Pour un tronçon i :

$$\text{Délai}_i = \text{Temps de parcours moyen observé}_i - \text{Temps de parcours attendu}$$

Où le temps de parcours attendu est établi selon l'heure, le lieu ou tout autre élément influençant l'attente des usagers vis-à-vis le réseau.

$$\text{Variabilité}_i = \frac{\text{Écart} - \text{type}_i}{\text{Moyenne}_i}$$

Pour un territoire : Moyenne des délais de tous les tronçons et de leur variabilité.

Pour un déplacement, un individu, un ménage, un corridor ou un générateur de déplacements, on fait la somme de tous les tronçons empruntés par le(s) déplacement(s) de la ou des personne(s).

Requis pour l'estimation et l'interprétation :

- Données
 - Vitesses réelles et affichées sur le réseau
 - Pour la prévision seulement : Origine et destination des déplacements.
- Manipulations
 - Pour la prévision seulement : Affectation sur le réseau et calcul de chemin

Limites, améliorations possibles et perspectives :

- Étudier l'applicabilité de ces indicateurs aux autres modes que l'automobile. En principe, c'est applicable pour tous les modes dont le réseau est connu (vitesse affichée, nombre de voies), l'attente des usagers est connue, et des données de vitesse réelle sur le réseau sont disponibles.
- Étudier comment agréger la variabilité calculé sur un tronçon à un trajet complet (déplacement, corridor), puis à un ou plusieurs individus (ménages, générateur de déplacements, etc.).

3.1.4 Contributions, perspectives et recommandations

Cette dernière section résume les contributions à l'aide de deux synthèses : l'une sur l'applicabilité des indicateurs proposés, l'autre sur les indicateurs d'offre et de demande sous-jacents aux

indicateurs proposés. Les perspectives closent le chapitre. Les 17 indicateurs couvrent, directement ou indirectement, tous les enjeux du Cercle de causalité.

Synthèse sur l'applicabilité des indicateurs proposés

Les méthodologies d'estimation proposées sont pour la plupart basées sur des données qui existent déjà sans toutefois provenir du domaine de planification ou de modélisation en transport. Un effort particulier pour assembler les données est probablement à envisager. Plusieurs des méthodologies d'estimations nécessitent :

- une enquête origine-destination, avec des questions sur le déplacement allant de générales (origine et destinations, mode de transport) à précises (coûts, réseau de transport);
- une connaissance détaillée des caractéristiques des infrastructures de transport (liens, stationnements, nombre de voies, vitesses, etc.) et mise à jour périodiquement;
- un calculateur de chemin pour chaque réseau accompagné d'un modèle d'affectation des déplacements, entre autres pour satisfaire les besoins prévisionnels.
- la fusion avec d'autres données :
 - existantes (budgets, vitesses réelles, recyclage des véhicules, etc.)
 - qualitatives (attente des usagers, potentiel d'interactions sociales, etc.).

D'ailleurs, la dernière colonne du Tableau 13 montre les six indicateurs qui sont sujets à la perception des usagers. Ce sont la plupart de ceux directement reliés aux impacts sociaux (#1, 2, 4, 5), ainsi que l'émission de polluants sonore et sur le paysage (#10) et le niveau de congestion (#17). Ces indicateurs bénéficieraient d'études qualitatives afin d'approfondir les concepts mesurés.

Quant au besoin d'un calculateur de chemin et d'un modèle d'affectation sur le réseau, ce sont huit indicateurs qui en requièrent. Alors que les trois découlant de l'énergie consommée concernent sur les modes motorisés uniquement, les cinq autres s'appliquent à tous les modes y compris le vélo et la marche. Quatre autres en bénéficieraient pour des fins de prévision.

Sans égard aux données, le Tableau 14 résume également les différents modes pour lesquels on peut appliquer les indicateurs. De manière générale, les indicateurs qui ne sont pas basés sur les modes empruntés lors du déplacement ne sont pas compatibles avec le mode « multimodal ». C'est le cas notamment de l'intensité de service (#6), des matières désuètes (#7), des indicateurs axés sur les finances (#13 et #14), des accidents (#16) et de la congestion (#17). De plus, les modes non-motorisés ne sont pas considérés pour tous les indicateurs qui découlent de la consommation de carburant. On considère également que la marche n'engendre ni dépenses (#12) ni déchets (#7).

Finalement, ce ne sont pas toutes les approches qui s'appliquent à tous les indicateurs proposés. Par exemple, les mesures d'accès (#5 et 6), de coûts de déplacements (#12), de main d'œuvre disponible (#15) et de matières désuètes (#7) ne se calculent pas au niveau du lien d'un réseau ou d'un corridor. Également, les indicateurs mesurant directement le volet économique sont pour la plupart impossible à décomposer au niveau des déplacements, des individus, des ménages ou des générateurs d'emploi. Des études spécifiques à cette dernière problématique devraient être conduites.

Tableau 13 : Synthèse de l'applicabilité des indicateurs proposés (modes, approches, désagrégation nécessaire)

#	Indicateur dépl. : Déplacement Prév. : Prévission TC : Transport collectif	Modes					Approches							Désagrégation			Affectation sur le réseau	Perception des usagers
		Auto	TC	Vélo	Marche	Multimodal	Dépl.	Individu	Ménage	Générateur	Lien	Corridor	Territoire	Spatialité	Temporalité	Segment de population		
1	Potentiel de contact social grâce aux dépl.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•
2	Dépl. avec peu de nuisances polluantes favorisant l'ambiance de quartier	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•
3	Activité physique réalisée lors des déplacements	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	
4	Indisponibilité en raison des déplacements	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•
5	Richesse et diversité des outils d'information à l'usager	•	•	•	•	•		•	•	•			•		•			•
6	Intensités de service, options de transport et équité d'accès	•	•	•	•		•	•	•	•			•	•	•	•		
7	Matière désuète et efficacité de récupération	•	•	•			•	•	•	•			•	•		•		
8	Utilisation d'espace et taux d'utilisation de l'emprise au sol	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	
9	Quantité et efficacité d'utilisation d'énergie	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	
10	Quantité, efficacité et équité de distribution des émissions de polluants	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•
11	Quantité et efficacité d'émissions de gaz à effet de serre	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	
12	Coûts directs de déplacement et équité de distribution des coûts	•	•	•		•	•	•	•	•			•	•	•	•	Prév.	
13	Récupération des frais d'utilisation	•	•	•	•						•	•	•	•			Prév.	
14	Contribution du transport au PIB	•	•	•	•								•	•				
15	Main d'œuvre disponible pour les générateurs d'emploi	•	•	•	•	•				•			•	•			•	
16	Accidents et leurs victimes par gravité	•	•	•	•						•	•	•	•	•		Prév.	
17	Niveau de congestion des routes principales	•	•	•	•						•	•	•	•	•		Prév.	•

Indicateurs d'offre et de demande sous-jacents aux indicateurs proposés

Tel que vu au début du chapitre, les 17 indicateurs sont redondants, car ils mesurent des impacts qui ont des relations de cause à effet entre eux. Cette redondance s'observe par le biais du Cercle de causalité. Si certains enjeux ne sont pas directement mesurés par un indicateur, ils le sont assurément indirectement par plus d'un.

Pour diverses raisons notamment l'indisponibilité des données, il se peut que les indicateurs proposés ne puissent pas être estimés. Advenant ce cas, il importe de ne pas laisser tomber les enjeux qui étaient couverts par cet indicateur. Quoiqu'il en soit, afin de faire preuve de transparence, il faudrait :

- S'il n'est pas possible de calculer l'indicateur proposé dans ce chapitre,
 - proposer une méthodologie d'estimation alternative basée sur des données disponibles;
 - utiliser un ou plusieurs proxy, soit des indicateurs d'offre ou de demande qui sont en fait des facteurs d'influence de l'enjeu à mesurer;
- Comprendre la sensibilité de l'indicateur, notamment en identifiant les facteurs d'influence auxquels l'indicateur est et n'est pas sensible.
- Mentionner les limites de la méthodologie d'estimation et les limites de son interprétation.
- Montrer la couverture, les manques et la redondance des enjeux de la mobilité durable (la pieuvre) par le système d'indicateurs;
- Planifier les étapes à suivre pour parvenir à l'estimation de l'indicateur idéal (ou à la meilleure estimation de ce dernier).

Pour chaque indicateur proposé, le Tableau 14 montre les paramètres de l'offre ou la demande issus du Cercle de causalité auxquels l'indicateur est susceptible d'être sensible directement. Les cases roses sont des facteurs d'influence qui ne sont actuellement pas inclus dans les indicateurs proposés, mais qui devraient l'être. Pour ce faire, de nouvelles méthodologies d'estimation doivent être proposées, basées sur des données qui ne sont peut-être pas disponibles actuellement.

Aucun indicateur n'est sensible au taux de dépenses caloriques; il ne figure donc pas dans le Tableau 14. Cela est un signe qu'il devrait peut-être être enlevé du Cercle de causalité. Également, la répartition modale a été ajoutée au tableau, car, bien qu'elle ne figure pas à l'intérieur du Cercle de causalité, elle fait le lien entre les Cercles des différents modes de transport.

Tableau 14 : Indicateurs traditionnels de mobilité impliqués dans l'estimation des indicateurs proposés

#	Indicateur	Véhicule			Déplacement				Ind.		Réseau													
		Taux conso. énergie	Taux émission	Taux d'occupation des véh.	Distance motorisée	Distance non motorisée	Temps de parcours	Vitesse de déplacement	Conduite écologique	Nombre de déplacements	Motorisation, abonnements	Services d'appoint et confort	Universalité des infrastr.	Fiabilité /régularité du service	Disponibilité stationnements	Diversité des tarifs	Connectivité du réseau	Information et signalisation	Volumes et débits	Qualité aménagement	Capacité du réseau	Prix de l'énergie	Répartition modale	
	Couleur Rose : la méthodologie devrait être directement sensible à ce paramètre, mais elle ne l'est pas actuellement																							
	dépl. : déplacement véh. : véhicule infrastr. : infrastructure ind. : individu																							
1	Potentiel de contact social grâce aux dépl.			•			•			•									•					•
2	Dépl. avec peu de nuisances polluantes favorisant l'ambiance de quartier																		•	•				•
3	Activité physique réalisée lors des dépl.					•	•			•														•
4	Indisponibilité en raison des dépl.				•	•	•			•	•													•
5	Richesse et diversité des outils d'information à l'utilisateur																	•						
6	Intensités de service, options de transport et équité d'accès									•		•		•		•		•			•		•	
7	Matière désuète et efficacité de récupération				•					•														
8	Taux d'utilisation de l'emprise au sol et surface-heure réservée			•			•			•									•			•		•
9	Quantité et efficacité d'utilisation d'énergie	•		•	•		•	•		•									•					•
10	Quantité, efficacité et équité de distribution des émissions de polluants		•	•	•		•	•		•									•					•
11	Quantité et efficacité d'émissions de gaz à effet de serre		•	•	•		•	•		•									•					•

#	Indicateur	Véhicule			Déplacement				Ind.		Réseau													
		Taux conso. énergie	Taux émission	Taux d'occupation des véh.	Distance motorisée	Distance non motorisée	Temps de parcours	Vitesse de déplacement	Conduite écologique	Nombre de déplacements	Motorisation, abonnements	Services d'appoint et confort	Universalité des infrastr.	Fiabilité /régularité du service	Disponibilité stationnements	Diversité des tarifs	Connectivité du réseau	Information et signalisation	Volumes et débits	Qualité aménagement	Capacité du réseau	Prix de l'énergie	Répartition modale	
	Couleur Rose : la méthodologie devrait être directement sensible à ce paramètre, mais elle ne l'est pas actuellement dépl. : déplacement véh. : véhicule infrastr. : infrastructure ind. : individu																							
12	Coûts directs de déplacement et équité de distribution des coûts	•		•	•	•									•								•	•
13	Récupération des frais d'utilisation																							
14	Contribution du transport au PIB (en %)																							
15	Main d'œuvre disponible pour les générateurs d'emploi																							
16	Accidents et leurs victimes par gravité				•	•		•		•									•				•	
17	Niveau de congestion des routes principales									•			•						•		•			•

Plusieurs paramètres de l'offre ou de la demande influencent la répartition modale, notamment la motorisation. Cette relation indirecte avec l'indicateur estimé n'est pas répertoriée dans le tableau.

Perspectives

Le système d'indicateurs proposé cherche à alimenter la discussion sur l'estimation des enjeux habituellement laissés de côté. La sélection des indicateurs et de leur méthodologie doit être discutée par les décideurs et planificateurs qui en feront usage. Une standardisation pourrait être envisagée si les acteurs concernés s'entendent. De surcroît, l'évolution des indicateurs choisis et de leur méthodologie doit nécessairement suivre l'évolution des enjeux composant le cercle de causalité. Le cadre doit être sujet une remise en question périodique et mis à jour selon les préoccupations nouvelles.

Dans un avenir rapproché, les améliorations générales à apporter ou les réflexions à entreprendre sont :

- la possibilité d'appliquer les méthodologies proposées aux intersections;
- l'adaptation du système d'indicateurs au transport des marchandises;
- l'inclusion du concept de cycle de vie;
- tester le cadre d'évaluation sur un quartier, un plan, un individu, un générateur de déplacements, une région, un corridor, etc.

Évidemment, les indicateurs devront se greffer aux schémas du cadre d'évaluation de la mobilité durable proposé (la pieuvre et le cercle de causalité). Des travaux de programmation et de visualisation restent donc à faire.

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

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

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

3.2.1 Introduction

Les changements climatiques sont devenus, dans les dernières années, la principale préoccupation environnementale. Les scientifiques ont admis que les conséquences des changements climatiques sont au-delà de leurs prévisions et que le principal acteur dans ces changements était les émissions de gaz à effet de serre (GES). Néanmoins, les pays produisent toujours autant de GES à travers les années. En Amérique du Nord, les transports sont responsables de 30% des GES et sont la principale source du rejet de ceux-ci dans l'atmosphère. Les véhicules privés sont responsables de la moitié des rejets attribuables aux transports. Il est d'un commun accord que ces domaines doivent être plus strictement contrôlés. Les gouvernements doivent, par conséquent, évaluer les politiques et les projets en considérant leur contribution environnementale ainsi que mettre en œuvre différentes stratégies afin de réduire leur empreinte carbone (Schipper et Marie (1999).

Les stratégies mises en place par les gouvernements peuvent influencer les émissions globales de carbones en visant une ou plusieurs composantes de la chaîne de production du carbone.

1. Activités : les stratégies qui visent à réduire le nombre ou la durée d'activités et de déplacements nécessaires; exemple: encourager le télétravail, encourager la mixité du sol.
2. Structurel: encourager les modes de transports publics et actifs.
3. Énergie: encourager les véhicules à faible consommation d'essence en augmentant les taxes sur l'essence et faire la promotion de la conduite écoresponsable et du covoiturage.
4. Type d'énergie : encourager les essences moins polluantes ainsi que les véhicules électriques.

Il y a plusieurs études disponibles sur les estimations des émissions polluantes liées aux politiques de transports et de mixité du sol. Les méthodes les plus fiables et précises demandent néanmoins des données conséquentes et très complètes. Les pays développés sont habituellement bien outillés à cet égard mais ce n'est pas toujours le cas. Il n'y a pas de « meilleure méthode » pour évaluer les émissions mais, certaines sont plus adaptées à

certaines situations ou à certains environnements. Bien entendu, les meilleures méthodes d'estimations des émissions ne peuvent pas être appliquées adéquatement sans avoir des données entrantes de qualité.

Cette étude va premièrement aborder brièvement les méthodologies d'estimations. Typiquement, l'estimation peut être segmentée en deux étapes principales. La première consiste à évaluer et prévoir le nombre de déplacements selon le mode de transport. La deuxième consiste à l'estimation des émissions pour chacun des modes. Les politiques d'évaluation des GES peuvent aussi inclure une évaluation de la concentration et de la dispersion des émissions dans l'environnement. Cependant, cette composante ne sera pas incluse dans la recherche puisqu'elle est davantage liée aux enjeux de santé humaine, ce qui n'est pas le focus d'intérêt dans la recherche.

3.2.2 Méthodologie générale d'estimation des émissions

Le cadre général de l'estimation des GES est discuté en détail dans la méthode ASIF (Activity, Structure, Intensity, Fuel). Ce cadre méthodologique a été développé par Schipper et Marie (1999) et peut s'appliquer à différentes situations selon les données qui sont disponibles. Bien que des méthodologies plus récentes, qui incluent des méthodologies de modélisation, ne soient pas directement liées à la méthode ASIF, le cadre méthodologie permet de bien expliquer ces concepts. La méthode ASIF a été utilisée dans plusieurs pays pour différents projets. Plusieurs de ces projets ont été effectués en Amérique du sud (TransMileno, Bogota, Colombie, MetroBus, Mexico, Mexique), en Asie (TransJakarta, Jakarta, Indonésie, Vietnam, Philippines, Thaïlande, Inde et Chine) (CDM, 2012).

Le cadre méthodologique de la méthode ASIF est présenté à la Figure 60 (Schipper, Cordeiro et Ng, 2007).

La demande en déplacements et la répartition modale de ceux-ci vont habituellement de pair, tandis que la consommation et les émissions de carbone par type d'essence sont analysées ensembles. La revue de littératures est segmentée en deux étapes : les déplacements et l'estimation des émissions. Dans la plupart des pays, ces deux étapes sont effectuées à l'aide d'outils de modélisation. Néanmoins, de récents efforts sont effectués afin de développer des outils intégrés de l'estimation des émissions de GES. Dans la première section, les concepts généraux de la demande en transport seront abordés tandis que dans la deuxième section, la modélisation des émissions sera analysée plus en détails.

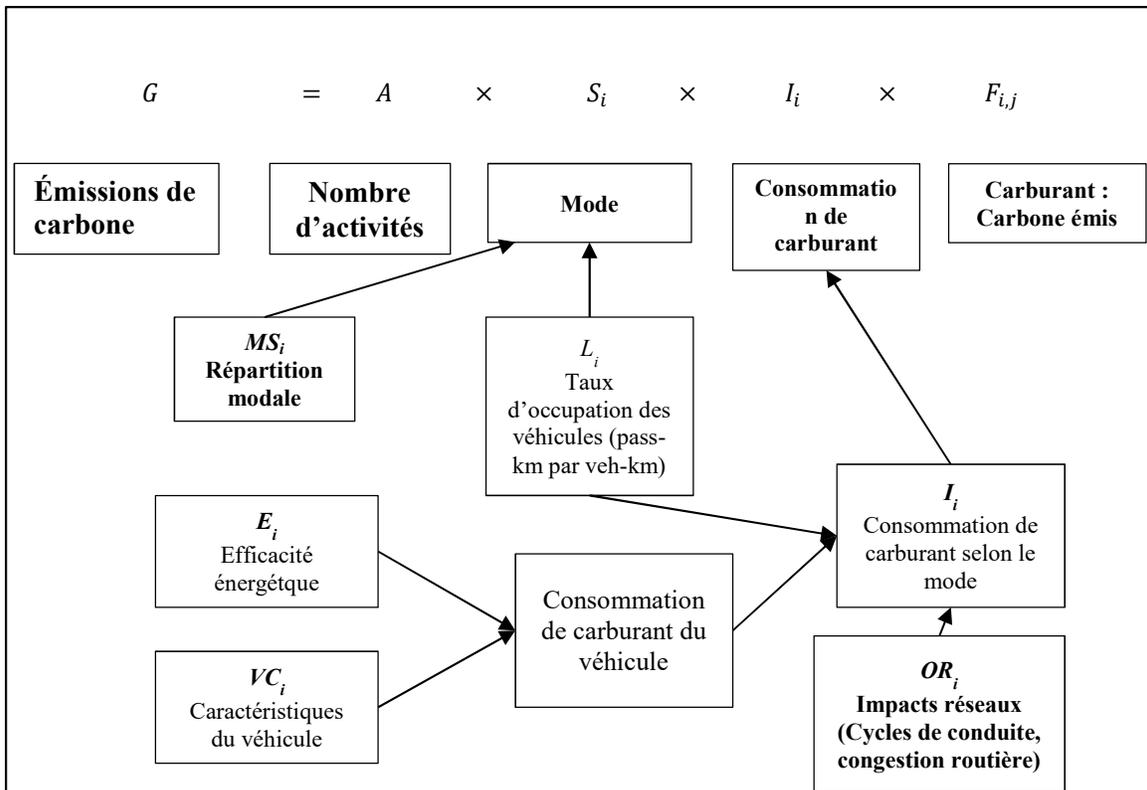


Figure 60 : Cadre méthodologique de la méthode ASIF

Demande en transport

Macroscopique

Les modèles classiques de la demande en transport sont basés sur la procédure séquentielle classique à quatre étapes. Les quatre étapes sont la génération des déplacements, la distribution des déplacements, le choix modal et finalement, l'affectation des déplacements. Les principaux outils commerciaux sont Emme, TransCad, Vissum, etc. La procédure séquentielle classique permet de modéliser l'impact à court terme de changements dans la mobilité. Cependant, il permet difficilement d'évaluer les impacts à long terme de changements structurels tel que l'étalement urbain et l'évolution des lieux d'emplois. Il est entendu que la procédure séquentielle classique ne permet pas d'obtenir les données nécessaires à l'estimation des GES à un niveau de résolution adéquat (Shiftan, 2000).

Un exemple de l'application des modèles d'activités au niveau de l'évaluation environnementale au Canada a été présenté par Hatzopoulou et Miller (2007) qui ont utilisé le modèle TASHA développé à Toronto. TASHA (Toronto Area Scheduling model for Household Agents) modélise la demande en activités sur 24 heures. Les auteurs affirment que les modèles d'activités permettent une meilleure cohérence au niveau temporel que les modèles conventionnels. Le modèle fonctionne en collaboration avec EMME2 pour les temps en congestion. Ils expliquent que les modèles d'activités peuvent améliorer l'estimation des émissions au niveau local.

Microscopique

Tel que mentionné précédemment, les émissions polluantes des véhicules sont liées étroitement au profil de vitesse et d'accélération. Les modèles habituels de la demande en transport permettent seulement d'obtenir la vitesse moyenne sur les tronçons routiers. Par conséquent, l'utilisation de ces modèles n'est pas adaptée afin d'évaluer des projets qui modifient les profils de vitesse et d'accélération. De plus, ils sont difficiles à appliquer au niveau régional et devraient être limités à l'estimation des impacts au niveau des projets à cause des difficultés à calibrer les modèles à une plus grande échelle ainsi que les ressources nécessaires aux simulations. Les modèles microscopiques pour l'estimation des émissions sont principalement utilisés pour l'évaluation des impacts des systèmes de transports intelligents (synchronisation de feux de circulation, conception de route, carrefour giratoire, (Ahn et al., 2009, Mandavilli et al., 2008, Coelho et al., 2006, Várhelyi, 2002)). L'objectif de ces stratégies est habituellement de modifier les profils de vitesses des véhicules afin de limiter les arrêts et les fortes accélérations. Les modèles microscopiques sont habituellement utilisés après l'affectation des déplacements.

Estimation des émissions polluantes

Les émissions polluantes des véhicules, en fonction du type de véhicule, peuvent être divisées en trois parties : les émissions du pot d'échappement, les émissions par évaporation et les émissions pendant la production du carburant. Les émissions du pot d'échappement sont produites par la combustion d'essence par le moteur et sont constituées d'hydrocarbures, d'oxydes d'azote (NO_x), de monoxyde de carbone (CO) et de dioxydes de carbone (CO_2). Les émissions par évaporation correspondent aux gaz perdus dans le réservoir et aux pertes de carburant. Les émissions liées à la production du carburant correspondent aux gaz produits pendant la production et le transport du carburant. Les émissions produites directement par le véhicule est le type d'émission le plus sensible aux différentes politiques de transport.

Les facteurs influençant les émissions polluantes peuvent être segmentés en cinq catégories :

- Caractéristiques du véhicule telles que le type de véhicule et le type de carburant;
- Paramètres liés à l'entretien du véhicule (kilométrage et entretien du véhicule);
- Paramètres liés à l'utilisation (vitesse moyenne, départs à froid, air climatisé);
- Paramètres climatiques (température et humidité : Murshed, 2010, Wang et al. 2009);
- Paramètres liés aux réseaux de transport (type de route, condition de la route, etc. (Bachman et al., 2000).

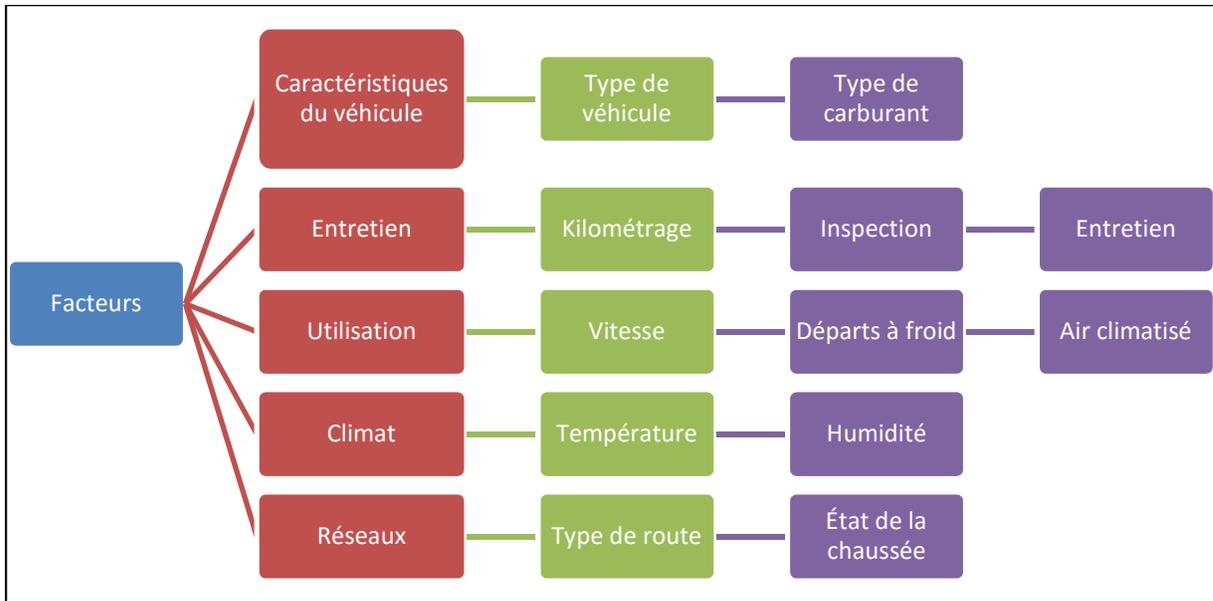


Figure 61: Facteurs ayant une incidence sur les émissions

Il y a plusieurs outils commerciaux de l'estimation des émissions polluantes qui sont disponibles. Parmi ces outils, MOVES est le principal utilisé en Amérique du Nord. MOVES (MOTOR Vehicle Emissions Simulator) est un outil d'estimation des émissions polluantes développé en 2010 par le USEPA (United States Environmental Protection Agency). Il est le remplaçant de MOBILE 6.2. Il permet de modéliser les émissions selon trois échelles : nationale, régionale ou d'un projet.

Cet outil est basé sur des données terrains acquises pendant des années en utilisant des PEMS (Portable Emission Measurement System). MOVES est le modèle le plus précis qui est disponible actuellement.

Limitations

Tel que mentionné précédemment, MOVES est un modèle complexe qui prend en considération plusieurs paramètres. La quantité de paramètres ainsi que leur sensibilité rend le modèle complexe et difficile à appliquer. De plus, avant d'appliquer un modèle, il est nécessaire de comprendre comment les variables entrantes du modèle peuvent influencer les résultats. Une analyse de sensibilité des différentes variables permet de mieux comprendre le comportement du modèle.

3.2.3 Méthodologie de l'analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité est basée sur les caractéristiques de la flotte de véhicules et de l'activité des véhicules pour un jour moyen de semaine de novembre 2011 à Montréal. La demande en déplacements provient de l'application MOTREM_MOVES, qui permet de modifier les résultats de sorties d'EMME2 afin de les transférer dans MOVES. Il est aussi possible d'utiliser MOVES avec la même interface. Cependant, pour cette étude, seules les données d'EMME2 ont été utilisées et modifiées. Certaines des caractéristiques sont basées sur les figures suivantes. Au total, pour 2011, 1 892 189 véhicules et 28.6 millions de km ont été effectués (environ 15 000 km/année).

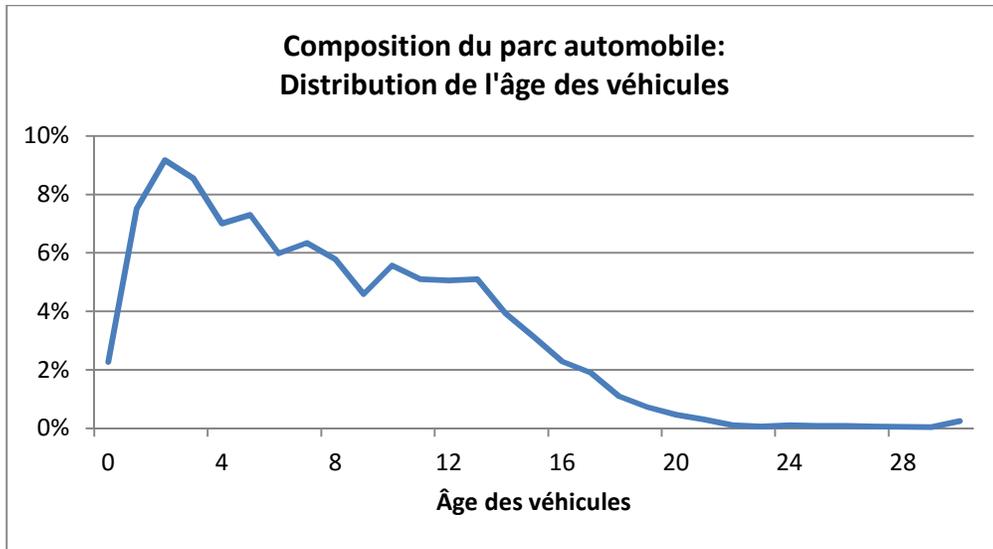


Figure 62 : Distribution de l'âge des véhicules

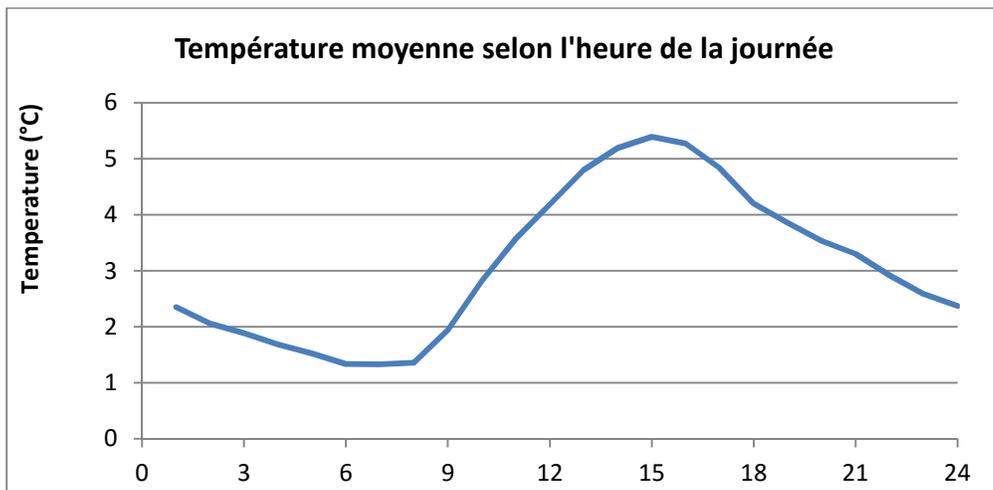


Figure 63 : Distribution temporelle de la température moyenne

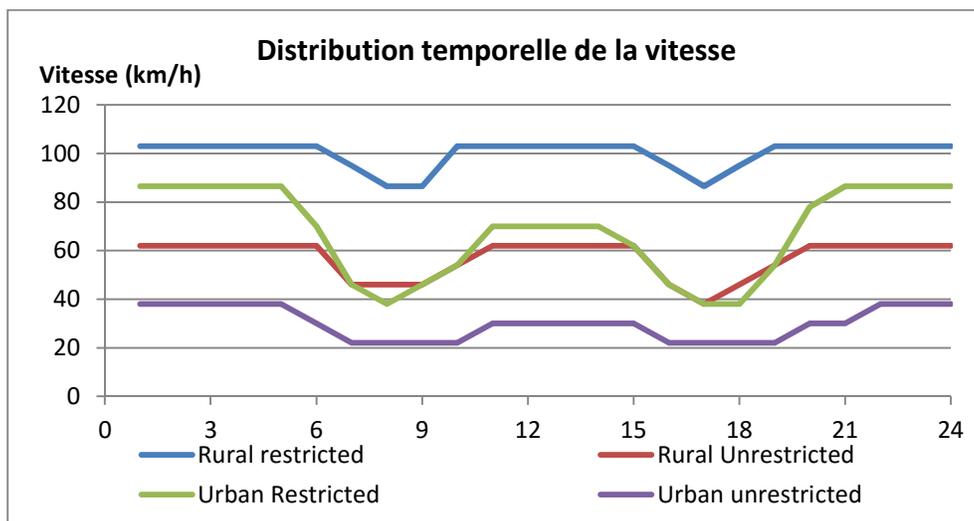


Figure 64 : Distribution temporelle de la vitesse

Température

Pour déterminer l'impact de la température sur la quantité d'émissions émises, cinq différentes températures ont été testées qui vont de -30 à +30 Celsius. Les températures dans MOVES sont disponibles par heure. Dans le cas de cette étude, une température constante pour toute la journée a été utilisée. Il est important de souligner que MOVES identifie une journée moyenne pour le mois et la température horaire correspond à la moyenne de la température horaire de l'ensemble des journées du mois. Le fait que la température varie énormément pendant un mois rend sensible les résultats au niveau de la qualité de l'air.

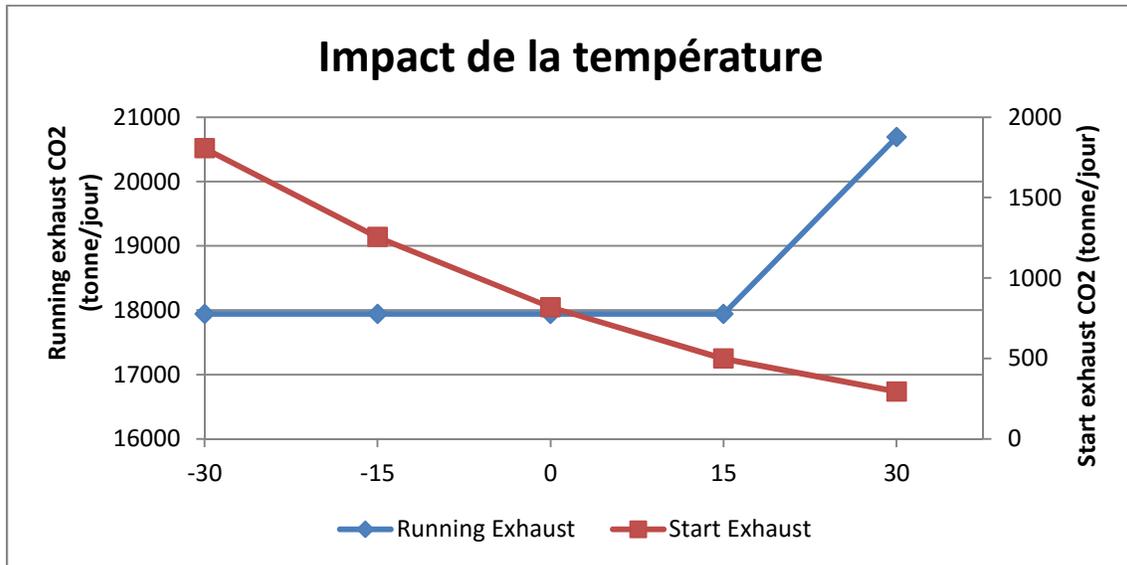


Figure 65: L'impact de la température lors de démarrages à chaud et à froid

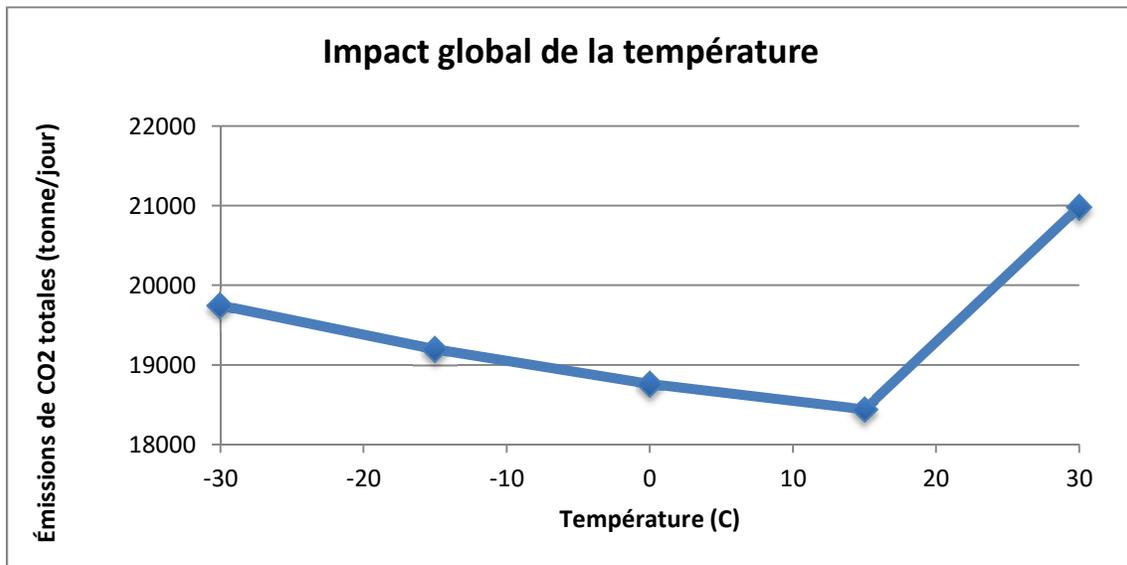


Figure 66: Impact global de la température sur les émissions de CO2

Comme il est possible de voir sur la Figure 65 et la Figure 66, les émissions produites lors de l'utilisation à chaud du véhicule augmentent rapidement lors de l'utilisation de l'air climatisé. Les températures froides ont peu d'effets lors de l'utilisation à chaud du véhicule. Cependant, l'impact est important lors des démarrages à froid. Une consommation d'essence plus élevée lors de l'utilisation de l'air climatisé était connue. La contribution des départs à froid sur la consommation de carburant ainsi que sur les émissions de CO₂ ont souvent été sous-estimées. Une stratégie adéquate afin de diminuer la quantité de CO₂ émise lors des démarrages à froid serait d'encourager les stationnements intérieurs en hiver. Les résultats précédents permettent aussi de souligner l'importance d'obtenir des données valides et précises afin d'obtenir des estimations précises des émissions de CO₂. Cela permet aussi de soulever une question : est-ce qu'une température moyenne par mois permet d'obtenir des estimations précises ?

Vitesse

Tel que mentionné précédemment, le profil de vitesse est une des plus importantes variables pour les émissions polluantes. Les vitesses dans MOVES sont basées sur des classes de vitesses. L'ensemble des classes représentent des vitesses provenant d'un cycle de conduite spécifique. Le Tableau 15 représente les différentes classes de vitesses disponibles. Les cycles de conduites sont aussi différents selon le type de route : hors-route, rurale et urbaine. Les données hors-route ne sont pas incluses dans cette étude. Comme variables entrantes dans MOVES, les données de vitesses doivent correspondre à des distributions horaires.

Tableau 15: Définition des classes de vitesses dans MOVES

Classes de vitesses sur MOVES	Vitesse minimale (mi/h)	Vitesse maximale (mi/h)	Vitesse moyenne (km/h)	Vitesse maximale (km/h)
1		2.5	0.00	4.02
2	2.5	7.5	4.02	12.07
3	7.5	12.5	12.07	20.12
4	12.5	17.5	20.12	28.16
5	17.5	22.5	28.16	36.21
6	22.5	27.5	36.21	44.26
7	27.5	32.5	44.26	52.30
8	32.5	37.5	52.30	60.35
9	37.5	42.5	60.35	68.40
10	42.5	47.5	68.40	76.44
11	47.5	52.5	76.44	84.49
12	52.5	57.5	84.49	92.54
13	57.5	62.5	92.54	100.58
14	62.5	67.5	100.58	108.63
15	67.5	72.5	108.63	116.68
16	72.5		116.68	0.00

Pour les fins de l'expérience, la vitesse a été augmentée de 5%, 10% et de 15%. Cela a été fait en déplaçant la distribution par rapport à la médiane. Comme il est possible d'observer sur la Figure 67, les variations de vitesses observées sont minimales. La modification de la vitesse moyenne est présentée au Tableau 16. Les changements apportés sont inférieurs à une classe de vitesses. Dans le cas de cette étude, seul l'impact direct de la vitesse a été étudié tandis que l'effet indirect de la baisse de la vitesse sur la demande a été écarté.

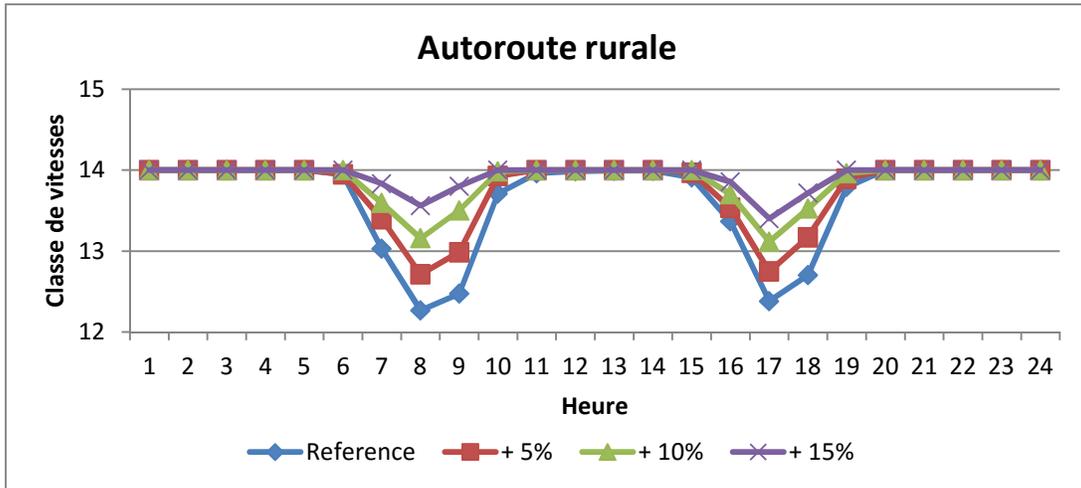


Figure 67: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les autoroutes rurales

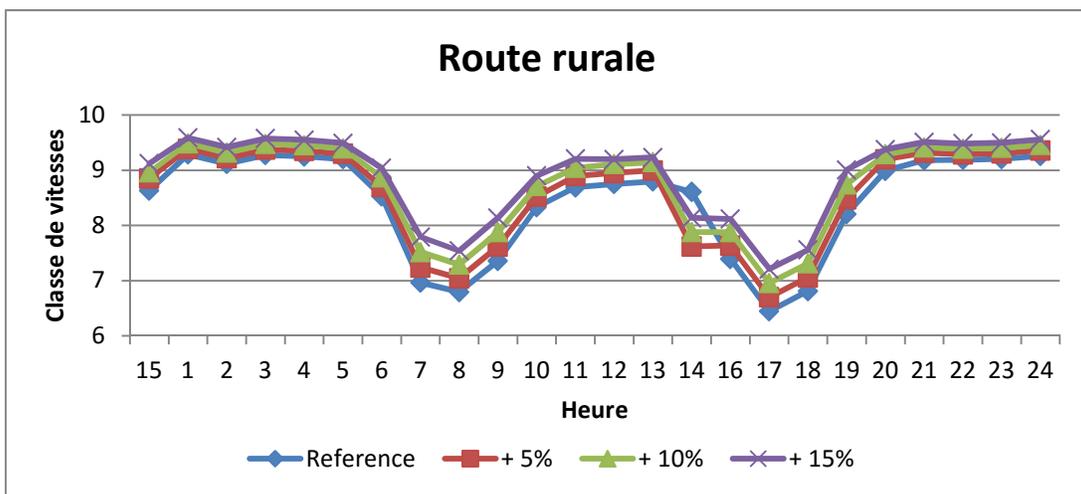


Figure 68: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les routes rurales

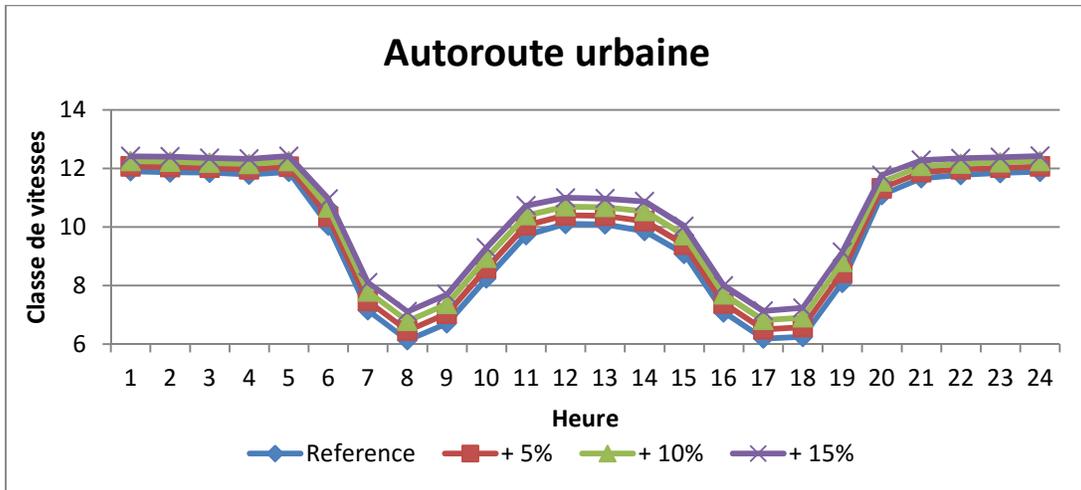


Figure 69: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les autoroutes urbaines

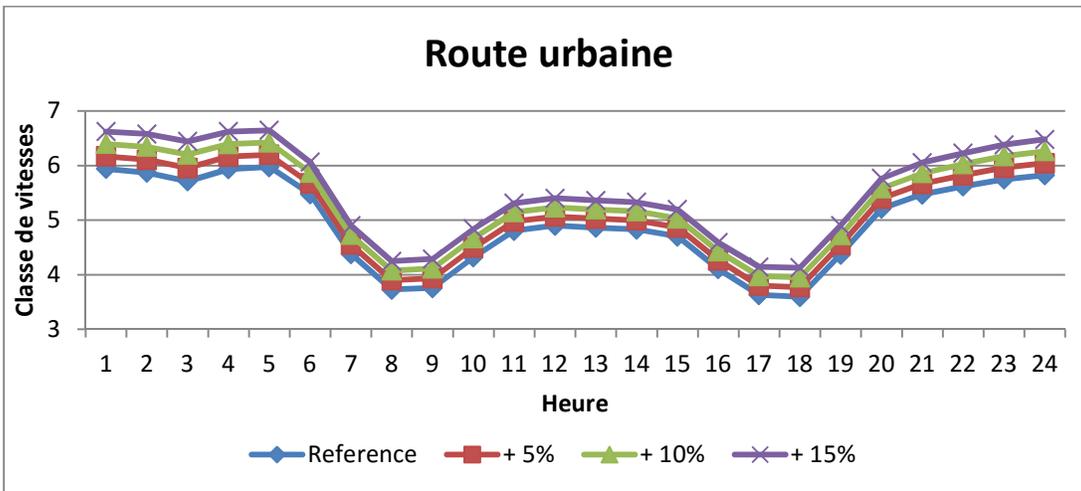


Figure 70: Distribution horaire de la vitesse moyenne sur les routes urbaines

Tableau 16: Moyenne journalière de la vitesse dans différents cas

	Référence	5%	10%	15%
Autoroute rurale	13.65	13.76	13.86	13.92
Route rurale	8.43	8.56	8.72	8.89
Autoroute urbaine	9.68	9.95	10.21	10.48
Route urbaine	4.95	5.14	5.33	5.52

La Figure 71 illustre l'effet d'une baisse de la vitesse sur les émissions de CO₂. Peu d'effets sont observés sur les émissions lors d'un démarrage à froid. Cependant, un effet important est observé lors d'une utilisation à chaud d'un véhicule. Les politiques de réduction de la congestion sont donc des stratégies importantes pour la réduction de la quantité de CO₂ émise.

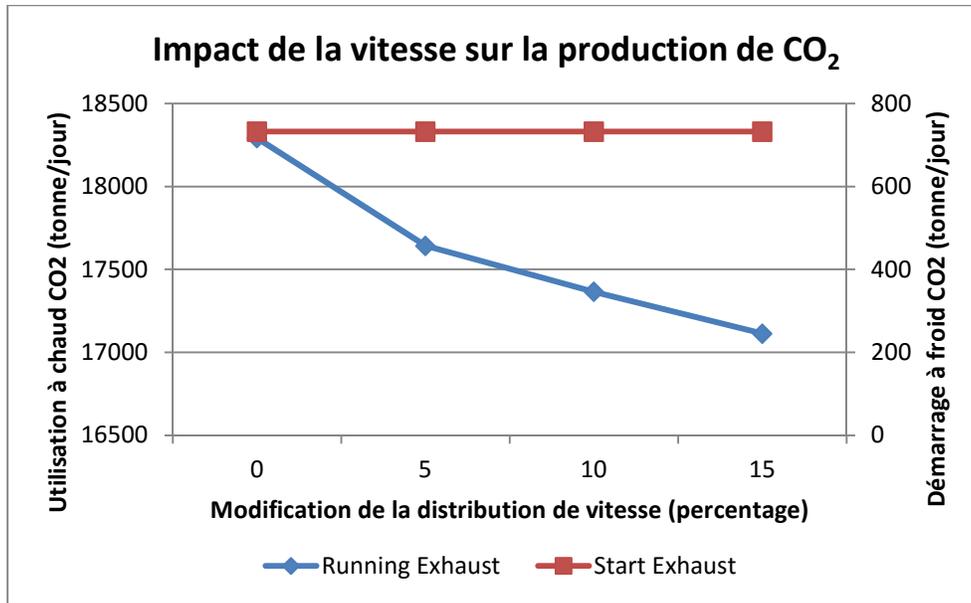


Figure 71: Effet de la réduction de la vitesse moyenne sur la quantité de CO₂ émise lors d'un démarrage à froid et d'une utilisation à chaud

Âge moyen des véhicules

La composition du parc de véhicules à l'intérieur de MOVES est une des données entrantes les plus importantes. Dans cette étude, l'emphase est mise sur les véhicules privés fonctionnant à l'essence. Une catégorie existe dans MOVES pour chacun des types de véhicules privés. Pour chacune des catégories, une distribution de l'âge moyen des véhicules est appliquée. Afin d'effectuer une analyse de sensibilité, les distributions ont été modifiées afin de rajeunir la flotte de véhicules. Pour ce faire, une portion de la distribution qui se trouve après 10 ans a été ajoutée à celle se trouvant avant 10 ans. Tous les autres facteurs concernant la flotte de véhicules et la demandes sont constants. Il est aussi important de souligner qu'un changement dans la distribution de la flotte engendre des effets sur les démarrages à froid ainsi que l'utilisation à chaud des véhicules. Les résultats des figures suivantes sont présentés par gramme de CO₂ par km. Les résultats montrent qu'une flotte de véhicules plus jeune engendre des émissions de CO₂ plus élevées. Ces résultats semblent paradoxaux et des analyses plus approfondies sont nécessaires enfin de bien comprendre ce phénomène. Cependant, cela montre bien la sensibilité qu'engendre une modification des données entrantes dans MOVES.

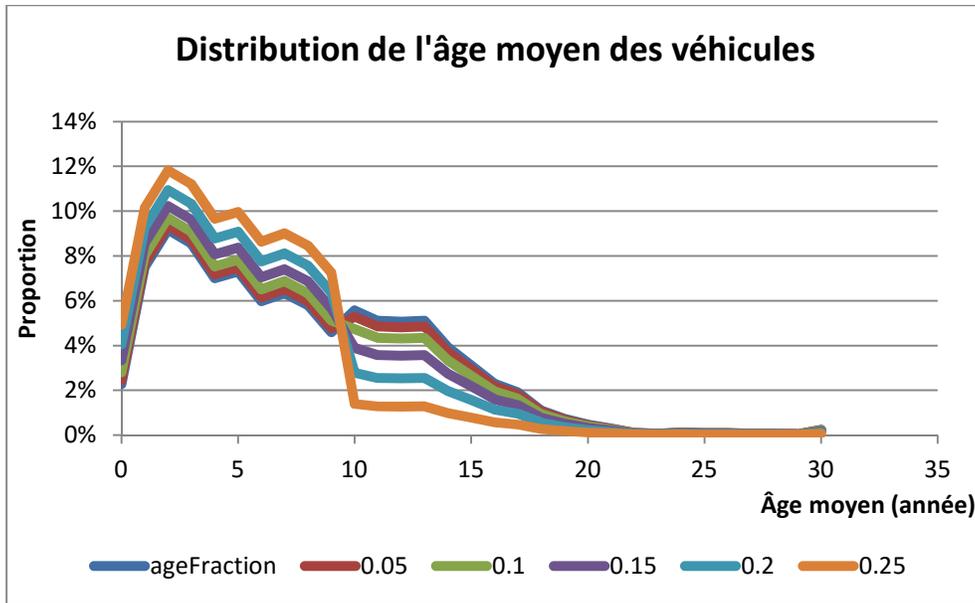


Figure 72: Distribution de l'âge moyen des véhicules

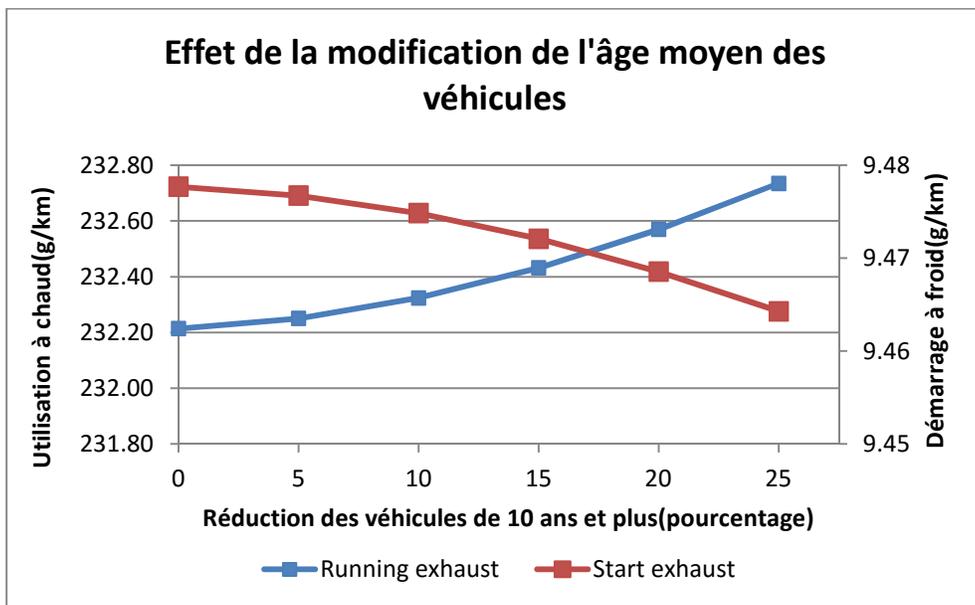


Figure 73: Effet de la modification de l'âge moyen des véhicules sur les démarrages à froid et sur l'utilisation à chaud d'un véhicule

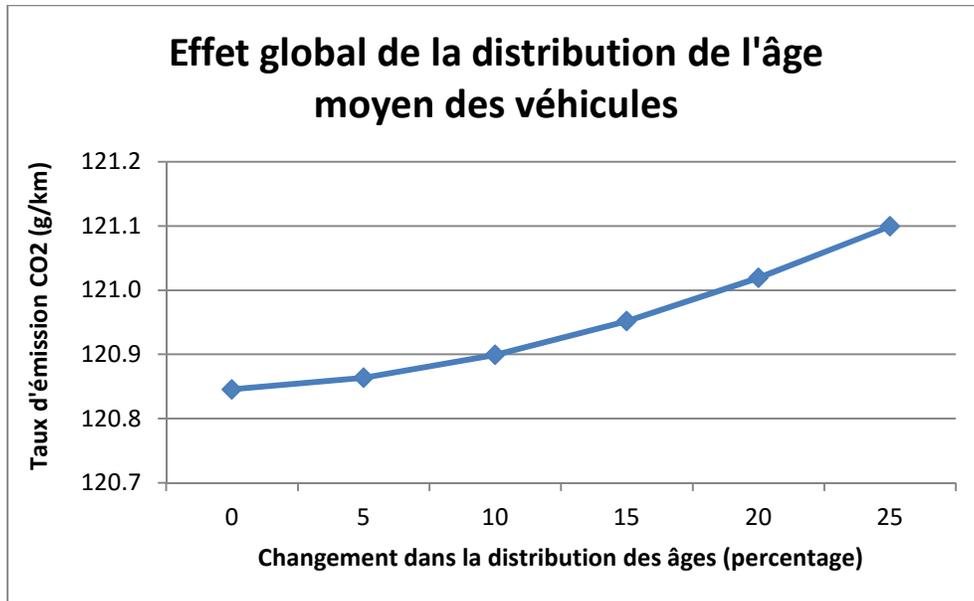


Figure 74 : Effet global de la modification de l'âge moyen de la flotte de véhicule sur les émissions de CO2

Conclusion

L'objectif général de cette étude est d'améliorer l'estimation des émissions polluantes à Montréal. L'outil utilisé actuellement pour ces estimations est Motrem_MOVES. Par conséquent, la première étape est d'étudier la sensibilité des résultats en regard des données entrantes de l'outil afin de cibler les pistes d'améliorations. Les premières analyses ont montré que les distributions de vitesse étaient le facteur qui avait l'effet le plus important sur les émissions de CO₂. Une amélioration des distributions de vitesses à Montréal aurait donc un effet important sur la précision des estimations d'émissions émises. Plusieurs études ont démontré que les profils de vitesses peuvent être très différents selon les régions. La prochaine étape serait donc le développement de différents profils de vitesses pour la région de Montréal.

3.2.4 Travaux en cours

Tel que mentionné précédemment, la prochaine étape est le développement de profils de vitesses pour Montréal. Afin de réaliser cette expérience, au-delà de 50 véh-heures de conduites ont été effectuées pour faire de la collecte de données. La collecte de donnée a été effectuée en janvier 2014 avec 7 conducteurs volontaires. Les données recueillies correspondent à la vitesse, la consommation d'essence en temps réel, la température du moteur ainsi que la position du véhicule. Un autre ensemble de données est étudié soit les données d'environ 30 autobus à Montréal. De plus, dans le contexte d'un stage en France, le calculateur d'émissions COPERT est étudié afin d'en comparer les caractéristiques avec MOVES.

3.3 Méthodologie d'évaluation d'un corridor de transport

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

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

3.3.1 Introduction

La ligne directe entre l'origine et la destination ou autrement dite la *ligne de désir* présente la demande brute de transport d'une façon simple. Idéalement, les réseaux de transport devraient suivre les lignes de désir, car elles tracent les chemins les plus courts au niveau individuel.

Pour passer d'un niveau individuel à l'échelle collective, il est nécessaire d'appliquer une approche permettant de regrouper les trajets optimaux et similaires pour pouvoir identifier les chemins collectifs idéals. Un concept de corridor en tant qu'un bassin qui attire, sur son axe, les trajets similaires peuvent être utilisés pour regrouper les lignes de désir. Par ailleurs, ce concept est relativement récent; sa définition, ses caractéristiques et ses limites restent encore un sujet de discussion.

Classiquement, les corridors de transport sont délimités en fonction de l'offre et des réseaux de transport. Par conséquent, la structure de ces réseaux est souvent le résultat d'un compromis entre les contraintes opérationnelles, administratives et urbaines. Définir des réseaux à partir de la demande brute peut aider à diagnostiquer l'efficacité de l'offre de transport et à évaluer l'écart entre les services de transport et la demande.

L'objectif de cette recherche est de proposer une approche de modélisation basée sur le concept de corridors qui permette de les délimiter, les définir, les caractériser à partir de la demande brute pour évaluer le niveau de durabilité de l'offre de transport existant ou futur.

3.3.2 Questionnement scientifique

Ce projet cherche à répondre aux questions suivantes :

- Comment définir un corridor au niveau urbain? Quelles sont ses frontières, limitations et caractéristiques?
- Comment modéliser un corridor à partir des lignes de désir? Dans quelle mesure le choix des limites « caractéristiques » spatiales et temporelles peut affecter les résultats du processus d'évaluation du niveau de durabilité d'un corridor?
- Pouvons-nous définir un modèle de corridor ou un corridor de référence permettant d'évaluer le niveau de durabilité de l'offre?
- Comment des méthodologies comme l'Analyse de Cycle de Vie ou d'autres permettent une meilleure compréhension des impacts d'un corridor de transport? Quelles sont celles qui sont les plus adaptées aux projets urbains de transport

mobilisant un grand nombre de variables environnementales, sociales et économiques?

3.3.3 Résumé de l'état d'avancement de l'année 1

Le rapport de la Chaire Mobilité de l'année précédente a présenté une revue de littérature sur le concept de corridor, ses définitions et ses caractéristiques en plus d'une typologie de classification des corridors de transport en fonction de différentes variables. La différence entre les corridors identifiés à partir de l'offre (*corridor d'offre*) et les corridors identifiés à partir de la demande (*corridor de demande*) a été présentée aussi. Après, une approche générale de modélisation des corridors de demande a été proposée.

Ensuite, les résultats de modélisation à l'aide d'une méthode de regroupement /clustering appelé TraClus « Trajectory Clustering » ont été présentés pour démontrer le potentiel du concept.

Ce rapport présente l'avancement des travaux en lien avec les défis rencontrés précédemment tels que le manque d'une définition claire concernant les corridors de transport et l'absence d'une méthode de regroupement adaptée au contexte du transport et aux caractéristiques des lignes de désir.

3.3.4 Définition d'un corridor

Le corridor est un terme global utilisé dans plusieurs domaines pour présenter un moyen permettant de mettre des espaces en communication les uns avec les autres. En transport, plusieurs définitions ont été proposées pour définir les différents types de corridors. L'analyse de différentes définitions permet de définir le corridor tel qu'illustrer dans la Figure 75.

Les utilisateurs (personnes ou marchandises) motivés par leurs besoins de mobilité cherchent des services et réseaux de transport appropriés pour atteindre leur destination; la bande géographique qui contient une forte concentration de déplacements représente un corridor.

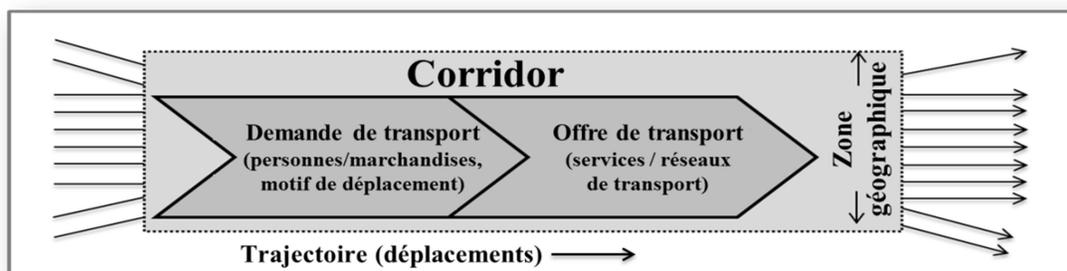


Figure 75 : Concept de corridor de transport

3.3.5 Critères d'identification

La littérature permet d'identifier quatre critères principaux pouvant être utilisés dans l'identification des corridors de demande.

Zone géographique

Les corridors sont des zones où les trajets similaires sont encapsulés ensemble. La longueur d'un couloir dépend de la présence d'un nombre minimal de déplacements, tandis que la largeur est définie principalement en fonction de la nature des déplacements et le mode de transport étudié. La littérature fournit de nombreux exemples de la largeur des corridors; certains corridors, tels que les corridors des piétons ou des cyclistes peuvent avoir des largeurs allant jusqu'à des centaines de mètres, les corridors de transport en commun peuvent avoir des largeurs jusqu'à deux kilomètres, tandis que les corridors du commerce international ont des largeurs de plusieurs dizaines de kilomètres (CMM, 2009, Carr et al., 2010).

Concentration

Afin d'identifier la zone d'un corridor, un nombre minimum de trajets est nécessaire. Cette exigence minimale est fortement associée aux objectifs de l'étude. Par exemple, l'identification des corridors de transport en commun nécessite généralement la présence de plus de voyages par rapport aux corridors de piétons.

Linéarité

Reiss (2006) définit la linéarité dans les corridors comme "le sens d'une direction cardinale particulière". Dans les corridors formés à partir des lignes de désir, l'angle maximal entre les différentes lignes regroupées dans le même corridor ne doit pas dépasser un seuil prédéfini.

Pour définir l'angle maximal entre l'axe de corridor et les lignes de désir nous partons de l'hypothèse que deux lignes avec 90° entre eux appartiennent certainement à deux corridors différents. Ensuite, nous affirmons que l'angle maximum entre les lignes pour être encapsulé dans le même corridor ne devrait pas être plus de 45° sinon les lignes qui appartiennent à des corridors différents peuvent être regroupé dans le même corridor, alors l'angle maximal entre l'axe du corridor et les lignes regroupées ne doit pas dépasser 22.5° . La Figure 76 présente le concept de linéarité.

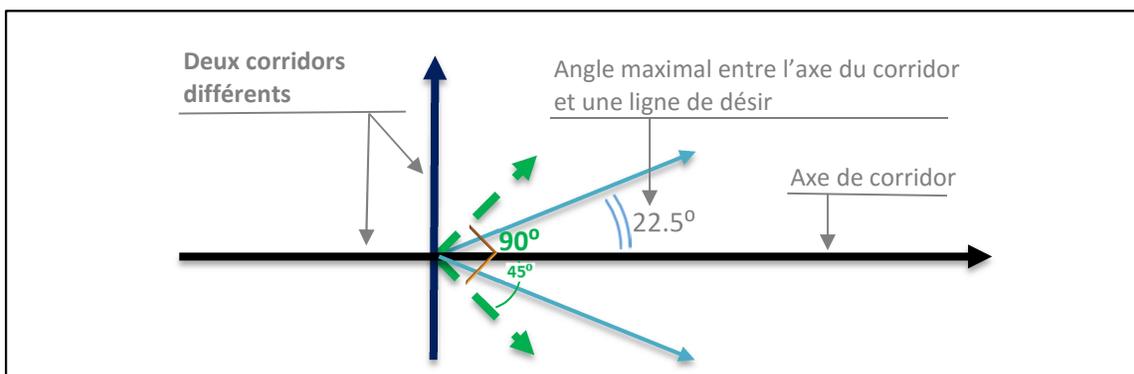


Figure 76 : Linéarité dans l'identification des corridors

Dynamique

La caractéristique dynamique d'un corridor est liée à des variables concernant les déplacements tels que la distance, le temps, le sexe, le revenu, etc. Il est possible, en

fonction des variables sélectionnées, d'identifier des différents corridors tels que des corridors d'heure de pointe ou des corridors des étudiants ou des femmes.

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

Les corridors de transport sont classiquement classés selon l'offre et la demande, leur couverture spatiale et leur composition modale. Les corridors identifiés à partir des éléments de l'offre de transport sont utilisés dans les processus de prise de décision et la planification à long terme des transports.

Les corridors identifiés à partir de la demande pourraient être utilisés comme une unité de référence dans les processus de prise de décision ou comme un outil de diagnostic de l'offre, car ils permettent d'évaluer l'écart entre l'offre et la demande. Les lignes de désir sont un moyen simple pour représenter la demande brute. Par conséquent, l'identification des corridors à partir des lignes de désir pourrait conduire à l'identification de corridors idéals de la demande. Dans cette approche, les corridors de transport peuvent être classés en deux grandes catégories selon la méthode d'identification utilisée : (a) les corridors de demande collectifs et (b) les corridors de demande en forme de réseau.

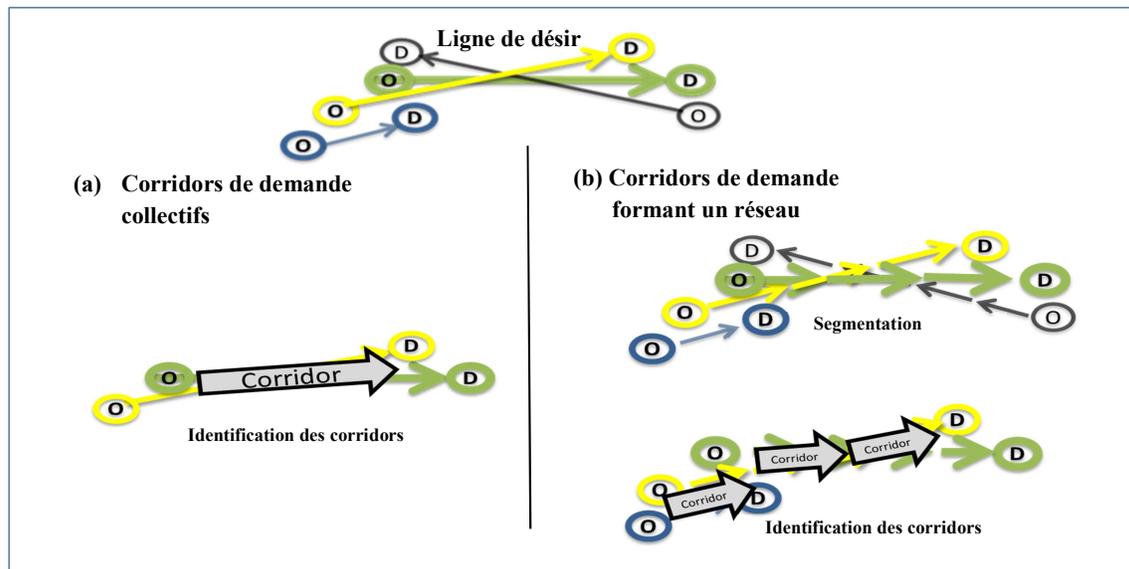


Figure 77 : Approches d'identification des corridors à partir des lignes de désir

Corridors collectifs

La méthode d'identification des corridors de demande collectifs est basée principalement sur la similarité intégrale entre les lignes de désir, autrement dite, les corridors identifiés présentent les zones qui regroupent les lignes qui sont intégralement « similaires » donc une ligne peut participer au maximum à l'identification d'un seul corridor, la Figure 77 (a) illustre cette méthode.

Les corridors de ce type peuvent être utilisés pour trouver les axes potentiels de transport collectif (métro, train, ...) ou d'identifier les zones prioritaires d'intervention.

En ce qui concerne la similarité, Lee et al. (2007) dans leur algorithme *TraClus*, utilisent une équation non métrique et complexe pour identifier les trajets similaires. L'application de cet algorithme est possible, mais le fonctionnement de *TraClus* et de ses paramètres

non métriques ne permet pas d'identifier facilement les corridors optimaux à partir des lignes de désir.

Les deux exemples présentés ci-dessus illustrent privément les caractéristiques dynamiques de corridor et le potentiel du concept pour diagnostiquer l'offre en utilisant TraClus.

Exemple 1

Cet exemple présent les résultats de l'application de TraClus sur 6470 paires OD impliquant l'utilisation d'un point de l'enquête OD 2008 de GRM. En utilisant l'heure de départ nous pouvons voir la caractéristique dynamique des corridors qui évoluent en fonction les horaires de la journée. De même façon, nous pouvons identifier les corridors en fonction des variables disponibles dans l'enquête OD tels que le sexe, l'âge, le revenu, etc.

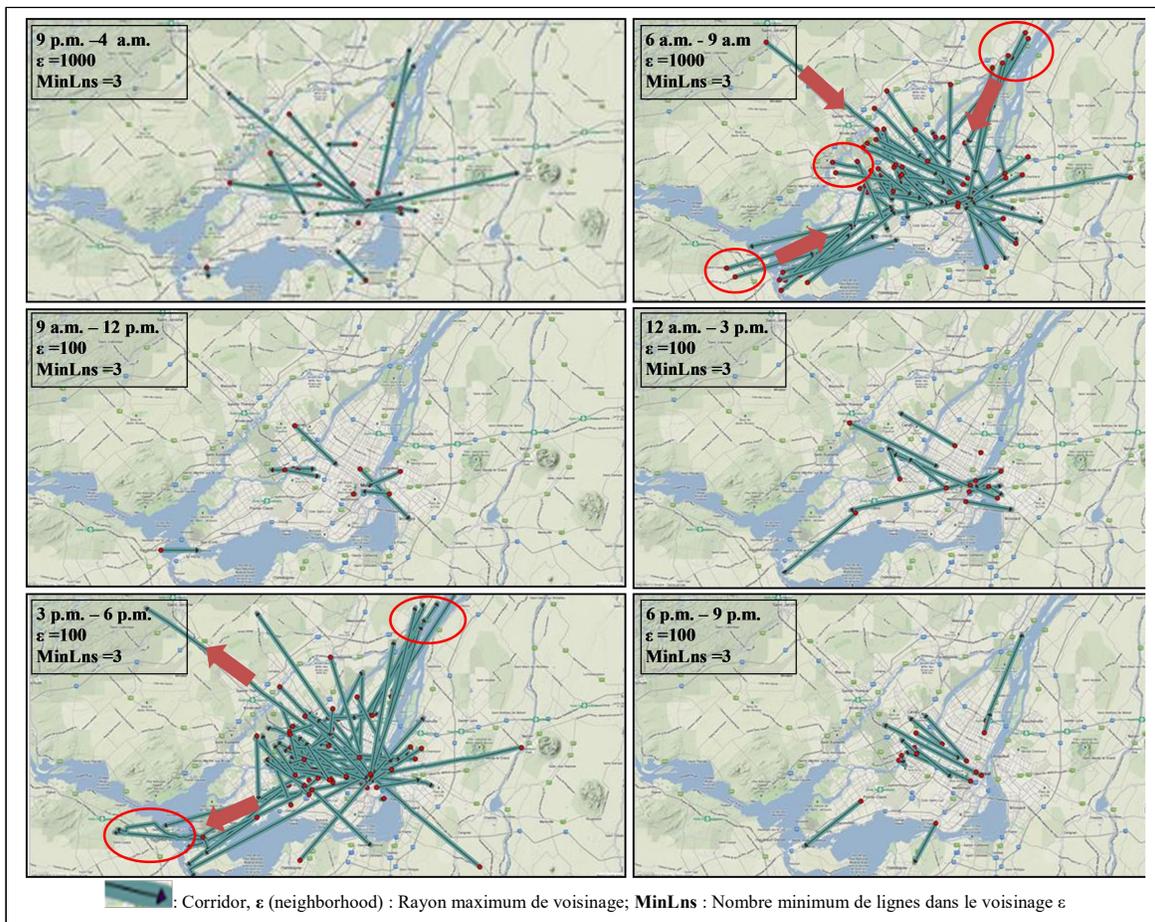


Figure 78 : Nature dynamique des corridors de demande

Exemple 2

Cet exemple cherche à démontrer le potentiel de corridor pour diagnostiquer la qualité de réseau routier. L'idée est d'utiliser les mêmes données de l'exemple précédent et d'analyser les déplacements associés à un corridor.

L'application de TraClus permet d'identifier un corridor qui passe par le pont Viau. Alors idéalement, les trajets individuels devraient passer aussi par le même pont si la connexité et la qualité de réseau le permettent. L'utilisation de l'outil *Calculateur de chemin* (développé par la Chaire Mobilité) permet de constater qu'environ 30% des trajets vont passer par le pont Viau et la majorité passeront par le pont A15, voir Figure 79.

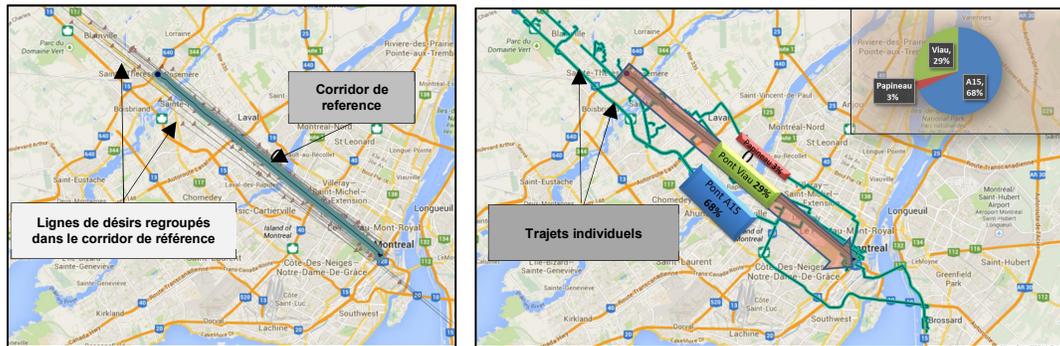


Figure 80 : le concept de corridor pour diagnostiquer la qualité de réseau routier

Corridors de réseau

Ce type de corridor est le résultat d'une méthode de regroupement qui cherche à regrouper les parités similaires des différentes lignes de désir, les résultats alors ressemblent à un réseau de demande, donc un corridor peut participer à la formation d'un ou plusieurs corridors.

L'identification dans ce type passe par deux étapes : (a) la segmentation des lignes en petits segments égaux, puis (b) la mesure de similarité entre les segments pour les regrouper et identifier les corridors, voire Figure 77.

La similarité peut être mesurée en utilisant plusieurs équations et paramètres, dans notre projet nous cherchons à développer une équation basée sur des paramètres adaptés aux transports et aux caractéristiques des lignes de désir.

Un algorithme *TraClus-DL* (Trajectory Clustering for Desire Lines) est en cours de développement pour identifier les corridors de demande à partir des lignes de désir en utilisant des paramètres intuitifs et adaptés au transport; l'algorithme utilise la distance euclidienne, l'angle entre les lignes de désir, le nombre minimum des lignes nécessaires pour former un corridor (avec la possibilité d'intégrer directement la facture de pondération) et finalement la longueur des segments.

3.3.7 Conclusion

L'identification des corridors à partir de la demande permet de valoriser les données disponibles au niveau désagrégé et d'identifier les axes potentiels de développement et d'intervention pour satisfaire la demande. Le concept de corridor peut être utilisé dans la planification des transports et dans les processus de prise de décision, car le concept est applicable sur des données actuelles ou estimées (futures).

L'approche de corridor est prometteuse, les défis sont liés au choix de la méthode d'agrégation et de son paramétrage. Ce qui nécessite le développement d'une méthode de regroupement adaptée au contexte de transport et aux données disponibles.

L'utilisation du concept de corridor pour diagnostiquer les offres de transport nécessite la formulation d'indicateurs et le développement d'un cadre intégré d'évaluation.

3.3.8 Contributions attendues

- Développement d'une méthode de regroupement adaptée au transport et aux données de transport
 - TraClus-DL (terminé à 95%).
- Proposer une méthodologie qui permet d'évaluer la durabilité de l'offre actuelle ou future.
 - Proposition d'une cadre intégrée d'évaluation (en cours)
 - Identification des indicateurs (tortuosité, capacité des infrastructures, etc.) (en cours)
 - Explorer des méthodologies comme l'ACV pour évaluer la durabilité de l'offre.

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

- Étudiante : Catherine Plouffe (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : accepté par le jury, présentation en août 2014
- Financement : Chaire Mobilité

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

3.4.1 Introduction

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

3.4.2 Problématique

Les méthodes de prévision de la demande de transport actuellement utilisées peinent à identifier les tendances nouvelles, déclinantes et l'adaptation ponctuel à un phénomène de courte durée.

3.4.3 Objectifs spécifiques

Le projet vise donc à affiner les techniques de modélisations par l'application de méthodes d'analyse démographiques. Cela permettrait de considérer les caractéristiques individuelles d'âge, de cohorte et de genre autant que les autres caractéristiques relevant des autres niveaux liées à l'individu, et ainsi faciliter la visualisation des phénomènes sur des segments de populations définis. L'objectif d'un modèle, permettant l'identification des tendances émergentes et des tendances déclinantes, aisément applicable sur l'ensemble de la population du grand Montréal est donc ici poursuivi.

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

- Décrire la mobilité urbaine montréalaise et présenter les grandes tendances en matière de mobilité urbaine;

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

3.4.4 Méthodologie

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

Source de données

Les données utilisées dans le projet de recherche proviennent des enquêtes Origine-Destination réalisées en 1987, et 1998 et 2008 dans la grande région de Montréal. Les bases de données sont, à l'origine, orientées vers les déplacements. Afin de pouvoir conduire les analyses démographiques, les bases de données ont été transformées pour considérer les individus en tant qu'objet. Les caractéristiques liées aux déplacements sont donc agrégées selon chaque personne. Les attributs du ménage sont identifiés, et réattribués à chacun des membres composant le ménage.

Pour la variable de densité du secteur municipal de résidence, les données proviennent des recensements canadiens de Statistiques Canada. L'offre de transport en commun, qui ne considère ici que la présence d'une station de métro ou d'une gare de train à l'intérieur d'un rayon défini autour du domicile, a été établie grâce à des SIG.

Méthodologie générale

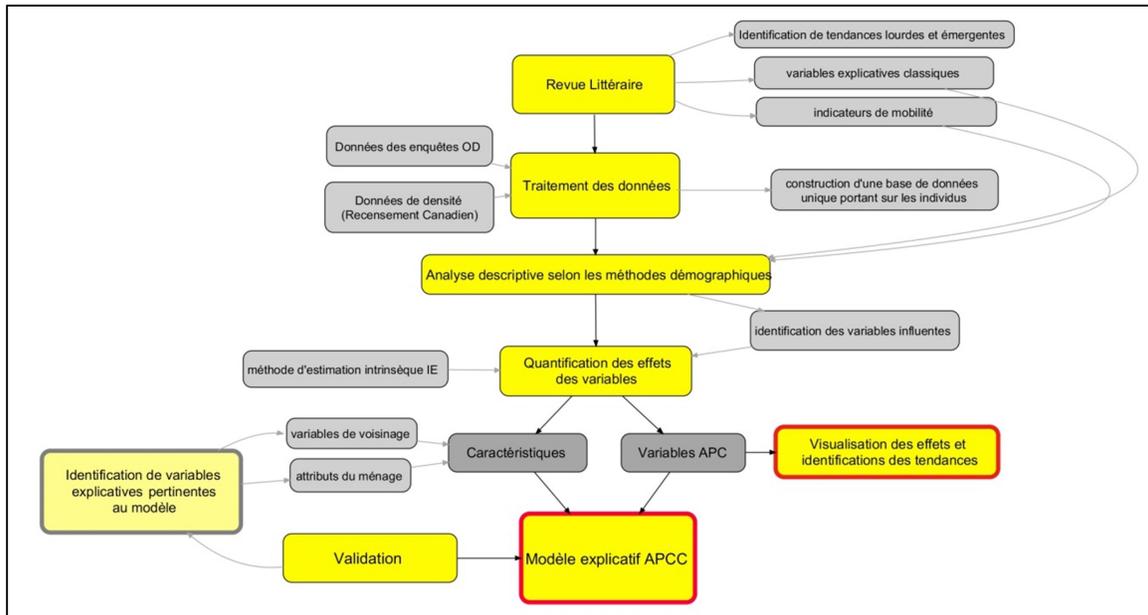


Figure 81 : Schéma méthodologique

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

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

Variables

Les variables démographiques caractérisent l'individu et ne sont pas liées à une question de choix, contrairement à d'autres de ses attributs personnels, telle que sa motorisation, la présence d'enfants dans son ménage et sa localisation résidentielle. Même si ces caractéristiques sont évolutives, puisqu'influencées par l'âge, le sexe, la cohorte de naissance et la période (année), elles peuvent être considérées ici comme des variables explicatives.

Les indicateurs de mobilité, tel que le taux de mobilité, la proportion de non-mobiles, le nombre moyen de chaînes de déplacements quotidien, ainsi que la part modale transport en commun des déplacements à motif travail et la part modale auto des déplacements à motifs étude sont retenus dans le projet en tant qu'indicateurs de mobilité. Enfin, la proportion d'auto-suffisants (membres d'un ménage où il y a au moins un véhicule par

personne de 16 ans et plus) est également retenue comme variable dépendante vu la forte probabilité d'une tendance émergente, laquelle devrait être identifiée par le modèle.

Variables dépendantes
Taux de mobilité
Nombre moyen de chaînes de déplacements
Proportion de non-mobiles
Proportion d'auto-suffisants
Part modale auto des déplacements à motif études
Part modale transport en commun des déplacements à motif travail

Variables indépendantes	
Démographiques	Âge
	Cohorte
	Période
	Sexe
Motorisation	Selon le type <ul style="list-style-type: none"> • Sans-auto • Auto-négociée • Auto-suffisant
Ménage	Taille en nombre d'individus
	Nombre d'enfants
	Nombre d'enfants d'âge scolaire-primaire
	Nombre d'enfants d'âge scolaire-secondaire
Localisation	Grande région de résidence <ul style="list-style-type: none"> • Laval • Montréal • Rive-Sud • Rive-Nord
	Densité (par classes et brute)
	Distance au centre-ville
	Offre de transport (dans le secteur municipal)
	Présence d'une station de métro (500m ou 1km)
	Présence d'une gare de train (1km, 2.5km ou 5km)

Analyse descriptive démographique

L'analyse démographique permet de visualiser un comportement selon une perspective longitudinale et transversale. L'analyse longitudinale donne la possibilité de suivre une cohorte, alors que l'analyse transversale se concentre sur un phénomène à un moment

précis. La technique se résume à dessiner une courbe par cohorte ou par période en respectant l'intensité du phénomène à chaque âge.

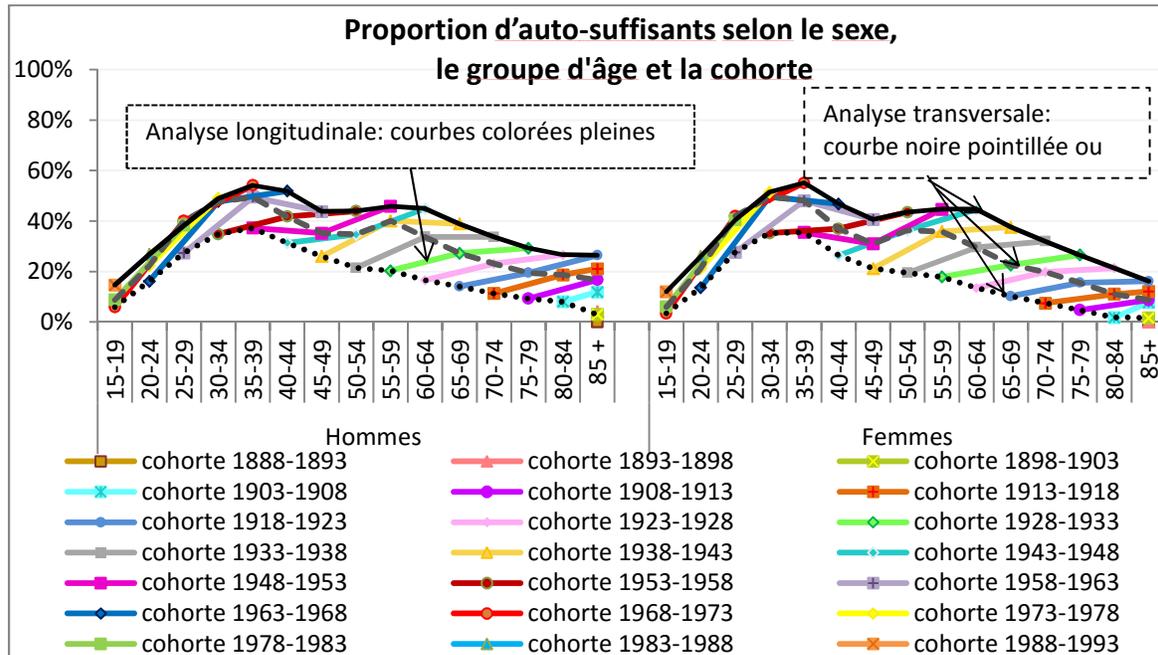


Figure 82 : Exemples d'analyse démographique longitudinale et transversale: Proportion d'auto-suffisants selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte

L'analyse descriptive selon la méthode démographique offre également la possibilité de vérifier les comportements dans des sous-populations définies par l'ajout d'une variable explicative aux variables d'âges, de genre et de cohortes. Certaines tendances communément admises peuvent ainsi être confirmées pour certains segments de la population, et rejetées pour d'autres.

Lorsque l'on analyse la Figure 81, on remarque par exemple que la croissance de la motorisation semble affecter indépendamment les hommes et les femmes. Une évolution des proportions selon l'âge de l'individu laisse supposer qu'à certaines étapes du cycle de vie, les individus ont plus tendance à se motoriser individuellement de façon plus intense. La proportion des auto-suffisants diminue au fil du vieillissement, les individus changeraient alors de type de motorisation (sans-autos ou auto-négociée).

L'idée d'une tendance, soutenue par la littérature, d'une motorisation individuelle de plus en plus propagée est vérifiée ci-dessus, lorsqu'on remarque la grande différence de proportion d'auto-suffisant de 1987 avec celle de 2008.

Cependant, l'ajout d'une variable explicative telle que l'appartenance à une grande région de résidence permet de préciser sur quels ensembles de population la tendance est observée. Par exemple, la Figure 83 compare les comportements des Montréalais et des Sud-riverains. L'ajout de la variable démontre ici qu'on observe depuis 1987 une croissance de la motorisation individuelle d'intensité différente selon la région. La même expérience peut être poursuivie avec l'ensemble des variables explicatives, ce qui facilite le choix des variables à intégrer dans le modèle explicatif. Cette phase du projet laisse

également présager quelle sera l'importance des variables dans le modèle et favorise l'interprétation des coefficients estimés par le modèle.

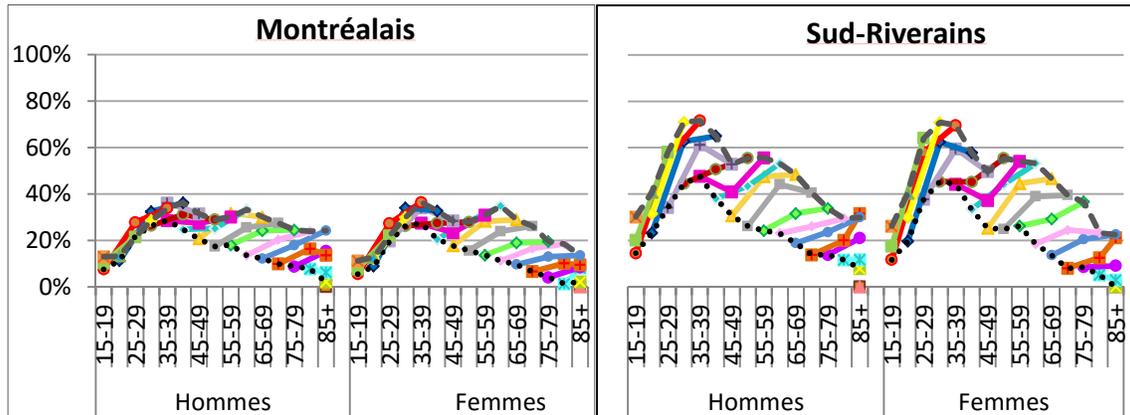


Figure 83 : Proportion d'auto-suffisants selon le sexe, le groupe d'âge et la cohorte: comparaison entre les Montréalais et les Sud-Riverains

Modélisation

La modélisation APC selon la méthode de l'estimateur intrinsèque réussit à surmonter la difficulté posée par la corrélation très forte qui lie les trois variables démographique d'âge, de période et de cohorte. Le processus permet d'estimer des coefficients pour chacune des variables, et d'évaluer leur pertinence (selon la valeur des indices Z et P) à être intégrées dans le modèle final. Ils sont utilisés afin de reconstituer la variable dépendante ou pour calculer des probabilités (Pépin, 2012).

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

$$P(Y) = \frac{1}{(1 + \exp^{-(constante + age_x + période_x + cohorte_x)})}$$

Tandis que la formulation dans le cas d'une variable continue :

$$Y = \exp(constante + age_x + période_x + cohorte_x)$$

Les coefficients éclairent le rôle des variables explicatives. Dans le tableau ci-dessous, par exemple, on comprend en observant les coefficients que, plus la densité est importante en termes de classes de densité, plus fortement négative est la probabilité d'être auto-suffisants.

Tableau 17 Coefficients estimés pour la proportion d'auto-suffisants

Classes de variables		variables	coefficient	z	P> z	
		Constante	-2,9365	-1987,1800	0,0000	
sexe		femme	-0,1481	-945,3300	0,0000	
variables de ménage	taille du ménage	1 personne/logis	2,9912	8349,3800	0,0000	
		2 personnes/logis	1,6664	5860,8600	0,0000	
		3 personnes/logis	0,9319	3652,0000	0,0000	
	nombre d'enfants par groupe d'âge	enfants préscolaires	0,6065	3133,1900	0,0000	
		enfants âgés de 5 à 10 ans	0,6884	3756,3000	0,0000	
		enfants âgés de 10 à 15 ans	0,6859	3999,6100	0,0000	
	région de résidence	Lavallois	0,2236	829,0900	0,0000	
		Sud-Riverain	0,2233	1119,6100	0,0000	
			distance du centre-ville (Km)	0,0275	3061,6300	0,0000
	classe de densité		densité 1000 - 3000 pers/km ² (2)	-0,1442	-635,7100	0,0000
			densité 3000 - 4500 pers/km ² (3)	-0,3729	-1340,1200	0,0000
			densité 4500 - 6000 pers/km ² (4)	-0,7382	-2039,9200	0,0000
			densité 6000 - 7500 pers/km ² (5)	-0,8006	-1919,7200	0,0000
			densité 7500 - 9000 pers/km ² (6)	-0,9651	-2061,1900	0,0000
			densité 9000 - 10500 pers/km ² (7)	-1,0383	-2019,4300	0,0000
			densité 10500 - 12000 pers/km ² (8)	-1,1443	-2004,1300	0,0000
			densité 12000 - 14000 pers/km ² (9)	-1,1997	-2075,9500	0,0000
			densité >14000 pers/km ² (10)	-1,4005	-2933,7800	0,0000
		offre de transport		metro 500m	-0,4546	-1356,4300
			gare 1km	-0,0784	-264,7200	0,0000
	gare 5 Km		0,0920	507,9700	0,0000	

Enfin, les coefficients calculés par méthode APC permettent également de visualiser les effets d'âge, de cohorte et de période, et de possiblement identifier une tendance.

Validation du modèle

La validation du modèle sera effectuée différemment si la variable dépendante est une variable discrète ou continue. Dans le cas d'une variable discrète, la formule du modèle permettra d'obtenir une probabilité que le comportement soit rencontré. Dix simulations de nombre quasi aléatoire sont ensuite acheminées, et le comportement est attribué lorsque le nombre aléatoire est inférieur ou de valeur égale à celle de la probabilité établie. Une proportion individuelle est enfin calculée selon la moyenne des dix simulations. Pour valider les résultats du modèle, on compare les proportions observées aux proportions modélisées. Les concentrations de probabilités de moins de 5% et de plus de 80% sont intéressantes puisqu'elles sont des probabilités se situant aux extrémités des possibilités, alors que les concentrations de probabilités de 40% à 60% nous renseignent sur les segments où le modèle n'arrive pas à expliquer le phénomène.

On valide un modèle expliquant une variable continue en recomposant la variable dépendante, puis en comparant la valeur observée à celle modélisée, et en calculant l'écart entre ces valeurs. Une distribution normale de ces erreurs autour de 0 est souvent synonyme d'un modèle intéressant.

3.4.5 Résultats

Les résultats présentés ici se concentreront sur la visualisation des effets bruts APC des divers indicateurs, tout en indiquant le contexte de réussite du modèle. L'objectif

principal étant d'identifier les tendances, une attention particulière est portée à l'effet de période.

Proportion d'auto-suffisants

L'analyse de la Figure 84 permet de vérifier la tendance communément admise d'une croissance la motorisation. On remarque qu'effectivement, les coefficients associés aux périodes sont en hausse entre 1987 et 2008, certifiant que plus les années passent, et plus forte est la probabilité d'être auto-suffisant.

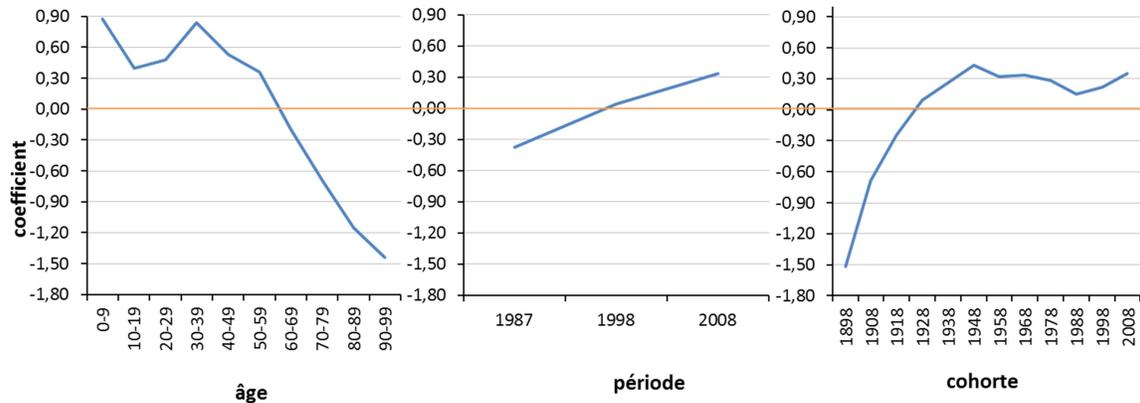


Figure 84 : Coefficients APC estimés pour la proportion d'auto-suffisants

Le modèle reproduit assez fidèlement les comportements observés, mais surestime la proportion d'auto-suffisants chez les femmes âgées de plus de 50 ans, et la sous-estime chez les hommes du même âge.

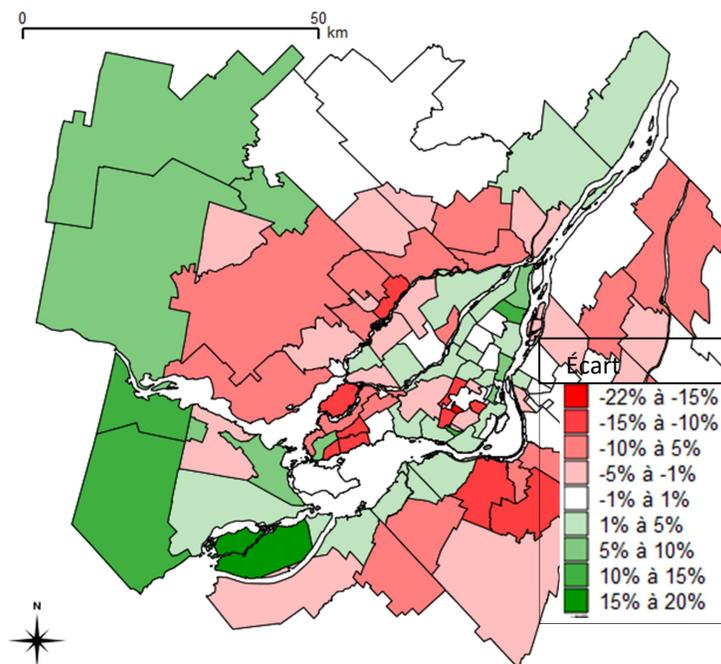


Figure 85 : Écart entre les proportions d'auto-suffisants observées et les proportions modélisées

La validation au niveau géographique démontre que des variables explicatives manquent au modèle. Le modèle sous-estime la proportion d'auto-suffisants dans les banlieues proches et la surestime dans l'est de l'île de Montréal et dans la couronne Nord.

Proportion de non-mobiles

La Figure 86 fait état d'une tendance légère à une croissance de la proportion de non-mobiles depuis 1987.

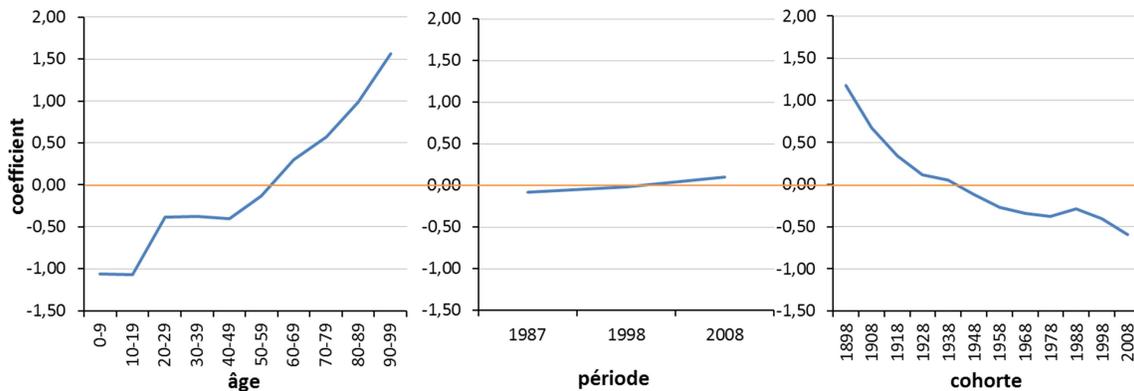


Figure 86 : Coefficients APC estimés pour la proportion de non-mobiles

Le modèle explique moins bien les comportements pour les hommes âgés de plus de 50 ans, plus particulièrement pour la période 1998, et pour les femmes en 1987 pour tous les groupes d'âge.

Taux de mobilité quotidien

Il n'y a pas de tendance qui se démarque se rapportant au taux de mobilité quotidien. Le nombre moyen de déplacements effectués a augmenté entre 1987 et 1998, mais a subi une baisse entre 1998 et 2008, le coefficient associé à 2008 étant encore plus négatif lors de la dernière période.

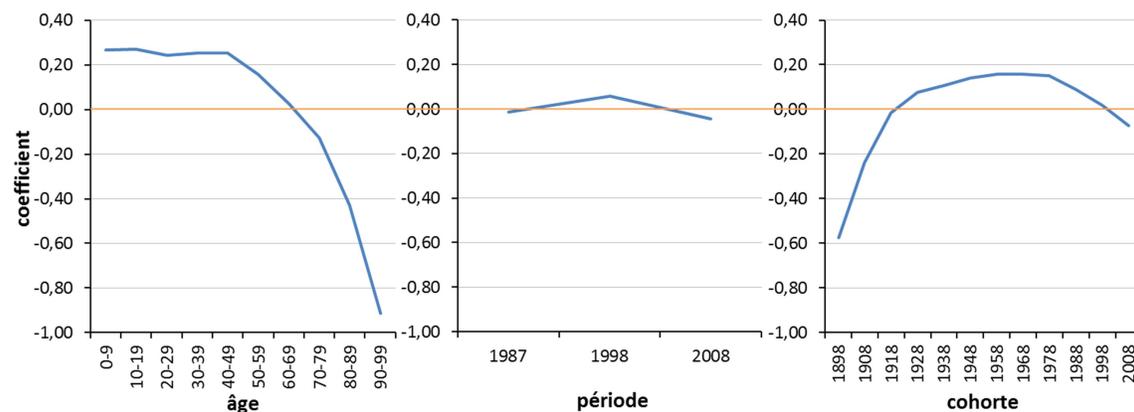


Figure 87 : Coefficients APC estimés pour le taux de mobilité quotidien

Le modèle surestime la mobilité des hommes de moins de 50 ans, alors qu'il la sous-estime chez les femmes des mêmes groupes d'âge. Au-delà de 50 ans, le modèle sous-estime la mobilité chez les hommes et la surestime maintenant chez les femmes.

Nombre moyen de chaînes de déplacements quotidiennes

La visualisation des effets bruts d'âge, de période et de cohorte pour le nombre moyen de chaînes de déplacements relève une grande similitude entre ces effets et les effets estimés pour le taux de mobilité quotidien. Tout comme pour le dernier indicateur, le point d'inflexion pour l'enquête 1998 est clairement visible. Ainsi, il n'y a pas de tendances identifiées pour cet indicateur.

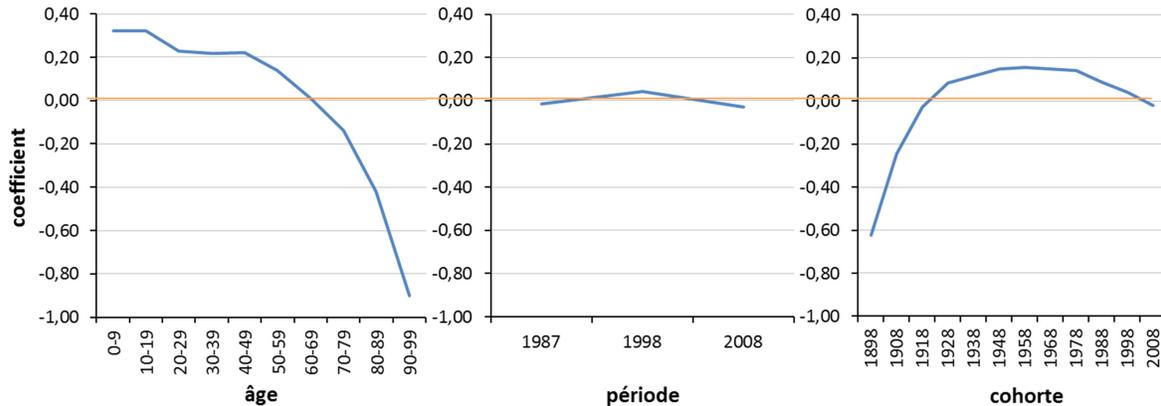


Figure 88 : Coefficients APC estimés pour le nombre moyen de chaînes de déplacements quotidiennes

Lors de la comparaison des données observées et des données observées, des constats très similaires à ceux qui avaient été établis pour le taux de mobilité quotidien sont reportés.

Part modale TC des déplacements effectués pour le travail

Le coefficient associé à 1987 est positif, tout comme celui associé à 2008, alors qu'on observe un effet négatif en 1998. La part modale TC des déplacements travail aurait donc diminuée entre 1987 et 1998, et depuis serait en croissance.

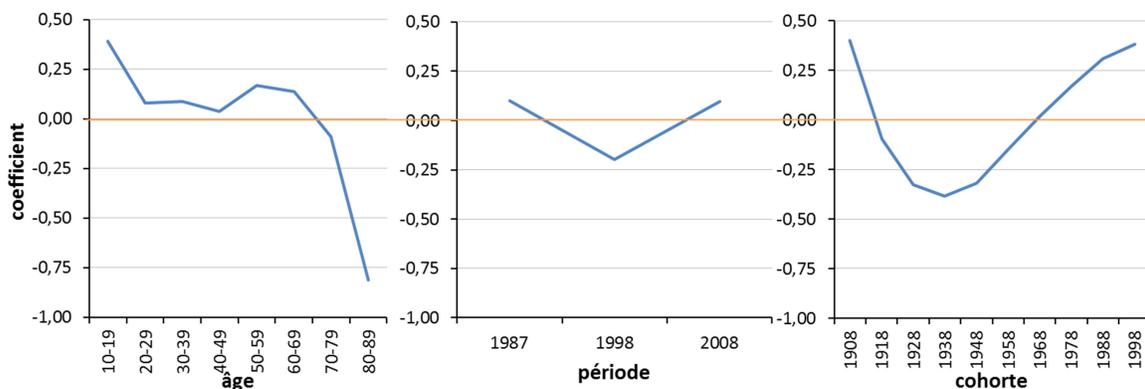


Figure 89 : Coefficients APC estimés pour la part modale tc des déplacements pour le travail

Le modèle explique assez bien les comportements lorsqu'on compare les parts modales observées et les parts modales modélisées selon l'âge et la cohorte. Lorsqu'on recoupe selon la période, on remarque que chez les hommes, le modèle surestime la part modale TC des déplacements pour le travail effectués en 1987 et la sous-estime en 2008. Chez les femmes, la relation inverse est produite; la part modale TC est ainsi sous-estimée en 1987 mais surestimée en 2008.

Le modèle peinerait à expliquer les comportements au centre-ville de Montréal, indiquant ainsi que des variables explicatives de voisinage supplémentaires devraient être intégrées au modèle.

Part modale auto des déplacements effectués pour les études

Il n'y a pas de tendance claire lorsqu'on se réfère à la Figure 90. En effet, les coefficients, d'abord négatifs, deviennent positifs en 1998 et reviennent négatif pour la plus récente enquête.

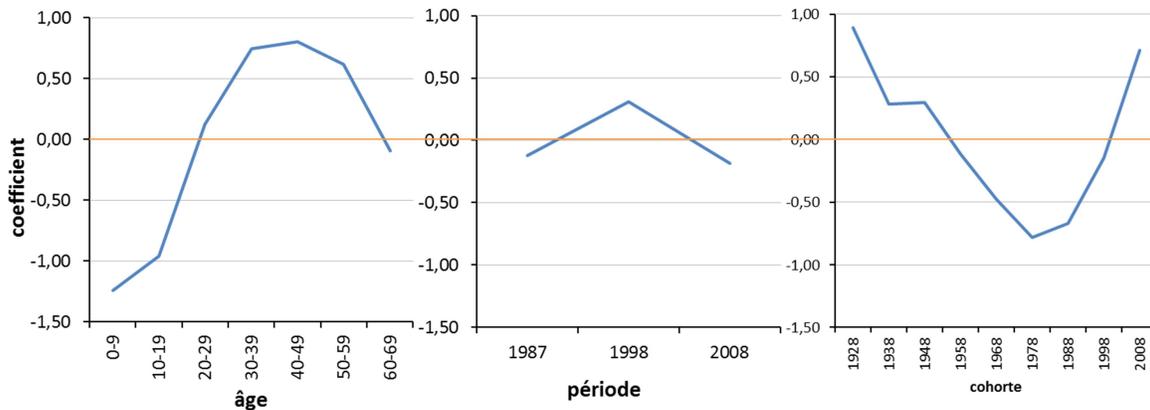


Figure 90 : Coefficients APC estimés pour la part modale auto des déplacements pour les études

On remarque cependant que les coefficients associés aux cohortes les plus récentes sont fortement positifs. L'émergence d'une nouvelle tendance est à surveiller.

La validation du modèle à partir de l'appartenance des individus à une cohorte ne permet pas d'identifier un segment de population pour lequel le modèle explique moins bien le choix modal. Cependant, le choix modal des femmes de plus de 40 ans semble être moins bien modélisé pour les années 1987 et 2008.

Analyse exploratoire

Une analyse exploratoire a été conduite sur le nombre moyen de déplacement quotidien. Cet indicateur a été choisi par son caractère classique dans la littérature. Cette technique de modélisation exploratoire vise à établir comment un modèle estimé séparément pour chacun des groupes selon le sexe pourrait offrir des effets d'âge-période-cohorte différents de ceux issus d'un modèle général.

Une modélisation séparée selon le sexe propose des effets bruts différents. La Figure 91 permet d'apprécier ces différences. Alors que les courbes composées des coefficients estimés pour les femmes sont assez similaires à celles qui caractérisent les autres populations étudiées pour les effets d'âge et de cohorte, une différence frappante apparaît au niveau de l'effet de période.

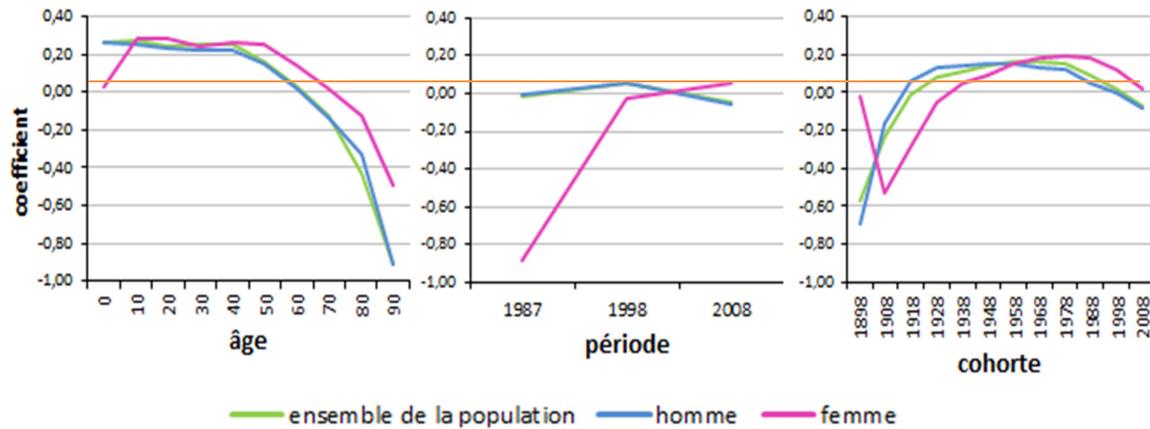


Figure 91 : Coefficients APC estimés pour le taux de mobilité quotidien, selon le segment de population sur lequel le modèle est appliqué

Alors que ces effets sont en général modestes pour la population générale et pour les hommes, on remarque que les coefficients pour la population féminine démontrent un changement de comportement important pendant l'étendue de la période d'études. Les femmes effectuent bien davantage de déplacement en 2008 qu'elles le faisaient en 1987. La tendance selon laquelle les femmes rattrapent les hommes en matière de nombre de déplacements quotidiens est bien plus facilement visible lorsqu'on applique le modèle séparément, permettant de connaître les effets bruts de période pour ces dernières en particulier.

Discussions suite à l'analyse exploratoire

L'intérêt des résultats issus de l'application du modèle sur les populations segmentées selon le sexe suggère d'étendre la technique à une population divisée de plus en plus finement selon les autres caractéristiques personnelles indépendantes (niveau de motorisation, taille de ménage, localisation résidentielle, etc.). Des coefficients bruts d'âge, de période et de cohorte spécifiques à chaque sous-population pourraient ainsi être proposés et comparés. Cependant, trois difficultés nous amène à écarter cette méthode. D'abord, la limite de la taille de l'échantillon utilisé signifie des sous-populations trop peu nombreuses pour soutenir des analyses pertinentes. En deuxième lieu, le modèle serait dépouillé de toutes ses variables indépendantes ayant amélioré sa performance. Finalement, l'application du modèle de référence (comportant uniquement les variables d'âge, de période et de cohorte) devrait être menée sur plusieurs centaines de sous-populations, réduisant l'efficacité générale du processus de modélisation.

3.4.6 Limites du projet

Il manque indéniablement de variables permettant de caractériser l'exposition à l'offre de transport. Des enjeux liés à l'indisponibilité des données ou à la non-comparabilité des données à travers le temps sont en causes.

Une autre difficulté importante se situe autour de l'attestation de nouvelles tendances dans les segments de population les plus jeunes, donc dans les cohortes plus récentes, puisque nous ne disposons pas d'assez de points (de périodes/moments d'enquête) pour vérifier si les tendances s'installent, ou si on assiste peut-être d'avantage à une prise de

retard dans le processus de motorisation. Contrairement à l'exemple conduit sur une modélisation effectuée séparément pour les femmes et les hommes, l'expérience ne peut pas toujours être reconduite pour isoler des segments de la population selon l'âge puisque certaines cohortes n'étaient pas nées ou survivantes pour toutes les enquêtes.

3.5 Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et chaînes de déplacements

- Étudiant : Gabriel Sicotte (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : fin prévue : août 2014
- Financement : Chaire Mobilité

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

3.5.1 Introduction

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

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

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

3.5.2 Objectif de la recherche

Ce projet s'inscrit dans un contexte où les modèles typiques de transfert et choix modal ne considèrent pas la structure spatio-temporelle complète de la chaîne de déplacements

et où les modes alternatifs et actifs sont souvent négligés alors que les déplacements bimodaux sont souvent traités avec des procédures ad hoc. Ainsi, l'objectif principal de ce projet de recherche est de mieux comprendre l'interdépendance entre le choix modal et la structure spatio-temporelle des chaînes de déplacements. Cette meilleure compréhension permettra de contribuer à l'amélioration des modèles de transfert et choix modal par la prise en compte des chaînes de déplacements et d'un ensemble de variables explicatives. Ceci exige notamment d'identifier et mesurer les variables ayant une incidence sur le choix du mode de transport.

3.5.3 Revue de littérature

Distinction entre choix modal et transfert modal

Le choix modal est celui auquel sont confrontés les individus sur le mode à utiliser dans le cadre d'un déplacement ou d'une chaîne de déplacements. Il est généralement modélisé à partir d'un modèle de choix discret afin de déterminer la probabilité d'un individu à choisir un mode particulier plutôt qu'un autre. Ce type de modèle implique une fonction d'utilité pour chaque mode et c'est en quelque sorte cette fonction que l'individu cherche à maximiser. Cette fonction comporte différents types de variables : personne, ménage, milieu bâti, déplacement et des celles des alternatives disponibles.

Le transfert modal correspond à un changement au niveau du choix modal suite à une variation d'une variable déterminante. À partir d'une fonction d'élasticité, la sensibilité de la demande de déplacements pour un mode est estimée. Cette demande est elle-même déterminée à partir d'un coût généralisé estimé pour chacun des modes. Ainsi, le transfert modal implique un changement de comportement d'un individu qui survient lorsqu'il y a un changement dans l'offre de transport. Généralement, on tente d'estimer le transfert modal vers un mode plus durable, par exemple de la voiture individuelle au transport en commun.

Les chaînes de déplacements

Les chaînes de déplacements constituent une série de déplacements faits par un individu à partir de son domicile et dont le dernier déplacement a pour destination ce même domicile. La chaîne est formée de déplacements individuels qui se différencient des autres par une destination différente, parfois même un motif différent. Un changement de mode, dans le cadre des déplacements multimodaux, ne correspond donc pas à un nouveau déplacement, mais plutôt le changement de tronçon d'un déplacement. (Primerano, Taylor, Pitaksringkarn, & Tisato, 2008; Steenberghen, Toint, & Zuallaert, 2005) Définir le concept de chaîne est loin d'être trivial, car il peut dépendre de différentes caractéristiques du déplacement et de l'activité. Néanmoins, la majorité des définitions de la chaîne de déplacement nécessite un retour au domicile pour la compléter et le retour vers un même point d'ancrage autre que le domicile est ainsi considéré comme une sous-boucle de la chaîne. Trois raisons expliquent que cette définition est la plus appropriée. Premièrement, selon le Metropolitan Adelaide Household Survey 1999, la majorité des déplacements initiaux partent du domicile, et la majorité des déplacements finaux se terminent au domicile. Deuxièmement, une chaîne débutant au domicile implique que plusieurs décisions devront être prises préalablement et ces décisions influenceront l'ensemble de la chaîne jusqu'au retour au domicile. Les options des

décisions à prendre changeront inévitablement suite au premier déplacement, et diminueront fort probablement. Par exemple, le choix du mode influence l'ensemble de la chaîne, car la décision prise avant le départ vers une activité influencera aussi le déplacement partant de cette activité. Troisièmement, cette définition de la chaîne de déplacement met davantage l'emphase sur les activités que sur les déplacements joignant ces différentes activités. Cela concorde parfaitement avec la définition des modèles d'activité de prévision de la demande, qui stipule que le déplacement est en fait une demande dérivée de l'activité (Primerano et al., 2008).

Les travaux de Valiquette (2010) ont permis la catégorisation des chaînes de déplacements en fonction de leurs caractéristiques principales, soit le nombre de destinations (lieux d'activité), et le nombre de points d'ancrage (nombre de boucles). Cela nous permet donc de classer les différentes chaînes, observées à partir de l'Enquête Origine-Destination de la grande région de Montréal, en quatre catégories : simple, complexe mono-boucle, complexe multi-boucle et ouverte. La chaîne simple ne comporte qu'un seul point d'ancrage, soit le domicile, et une seule destination (lieu d'activité). Ainsi, cette chaîne n'est constituée que de deux déplacements. La chaîne complexe mono-boucle comporte plus d'une destination, mais ne compte que le domicile comme point d'ancrage. La chaîne complexe multi-boucle comporte elle aussi plus d'une destination, mais au moins une de ces destinations joue également le rôle de point d'ancrage. C'est-à-dire qu'une sous-boucle de la chaîne débute et se termine à cette destination. Il est à noter que le domicile, d'où commence et se termine une chaîne, est également un point d'ancrage. La chaîne ouverte est quant à elle une chaîne incomplète pour laquelle on ne retrouve pas de retour à domicile. Elle peut également être simplement constituée d'un retour à domicile.

Variables influençant le choix du mode au sein de la chaîne de déplacement

Selon une étude effectuée par Steenberghen, Toint et Zuallaert (2005), un large éventail de variables explique le choix modal au niveau de la demande de transport. Tout d'abord, la structure spatiale apparaît comme une variable clé face au choix du mode de transport. Par exemple, le caractère urbain ou rural d'un déplacement entraîne inévitablement son lot de conséquences quant à la relation entre les distances et les différents moyens de transport. Ensuite, les différentes caractéristiques des personnes ont une importante influence sur la décision. Des caractéristiques telles que le statut, le genre, l'âge ont effectivement une incidence sur le choix du mode de transport. Également, les caractéristiques du ménage telles que sa structure, le nombre de voitures disponibles et leur distribution entre les membres du ménage en fonction des besoins spécifiques, ainsi que la distance entre le domicile et l'arrêt de transport en commun le plus proche expliquent le choix modal des individus. Les caractéristiques du ménage ont aussi une incidence sur la réalisation des déplacements collectifs, soit les situations où différents membres d'un ménage partagent le même mode de transport. Lorsqu'un ménage compte plus de membres ayant un permis de conduire que de voiture disponible, on retrouve souvent un conducteur principal. Ainsi, la voiture est souvent utilisée par la même personne durant la journée. Cette étude introduit le concept de profil des ménages en fonction de leurs caractéristiques, ceux des usagers de la voiture et ceux des utilisateurs de transports en commun. Les utilisateurs de la voiture tendent à conserver leurs habitudes de transport, peu importe la qualité de l'alternative en transport en commun

disponible. Il est également important de considérer la destination des déplacements et la qualité de leur desserte en transport en commun ou la disponibilité de stationnement pour le véhicule.

Selon l'étude de Steenberghen, Toint et Zuallaert (2005), le temps et la distance des déplacements sont des variables ayant une incidence importante sur le choix modal. L'influence de ces variables sur l'utilisation des transports en commun a été quantifiée à l'aide d'un calcul des élasticités. Néanmoins, dans le cas de la variable temps, une distinction est faite entre différentes composantes. En effet, le temps de déplacement en transport en commun est composé du temps effectif de déplacement, le temps d'attente et le temps de marche entre la station et la destination. Le temps de déplacement offre la possibilité de calculer un ratio critique entre celui du transport en commun et celui des autres modes, à partir duquel le transport en commun devient une option envisageable. Selon cette étude, le lien entre la durée totale de déplacement en transport en commun et l'utilisation de ce mode est faible. Ainsi, le ratio critique entre le temps de déplacement en transport en commun et celui des autres modes caractérise mieux son utilisation.

Par ailleurs, l'activité principale de la chaîne joue un rôle important lorsqu'un individu choisit le mode de transport qu'il utilisera. Néanmoins, ce n'est pas tant le motif de l'activité que son emplacement par rapport au domicile qui influence le choix. Effectivement, selon Steenberghen, Toint et Zuallaert (2005), le ratio critique entre le temps de déplacement en transport en commun et celui des autres modes pour le déplacement vers l'activité principale semble avoir un effet important sur le choix modal. Ainsi, la qualité de l'alternative en transport en commun ne doit pas nécessairement être bonne pour chaque déplacement individuellement, mais plutôt pour l'activité principale, qui se trouve être dans la plupart des cas les études ou le travail.

3.5.4 Le projet en trois défis

Un projet de maîtrise se divise en trois défis précis : le défi d'analyse, le défi méthodologique et le défi d'opérationnalisation. Dans ce cas-ci, on souhaite modéliser l'interdépendance entre le choix du mode de transport et les chaînes de déplacements. Ainsi, le défi d'analyse consiste principalement à établir les variables qui ont une incidence sur le choix du mode pour effectuer la chaîne. Le défi méthodologique est plutôt celui de savoir comment s'y prendre pour modéliser l'interdépendance entre mode et chaîne. Quel sera le type de modèle, la structure de la base de données et la typologie des différents éléments. Le défi d'opérationnalisation est quant à lui de déterminer l'utilité à long terme d'une telle étude et comment cette méthode pourra être utilisée concrètement au sein d'un projet d'aménagement ou de développement.

Le défi d'analyse

Les paramètres des fonctions d'utilité pour les alternatives modales

Ce projet nous offre la possibilité d'explorer plus profondément les alternatives modales disponibles, mais aussi des paramètres de la fonction d'utilité des différents modes qui n'ont pas encore été approfondis. Effectivement, les modèles de transfert et choix modal actuels négligent plusieurs modes émergents qui font de plus en plus partie intégrante du cocktail de transport des usagers. Par exemple, l'autopartage, l'auto libre-service et le

vélo libre-service ne doivent plus être négligés, car ces services sont offerts dans un nombre croissant d'arrondissements à travers la ville de Montréal.

Le tableau 1 présente les paramètres des fonctions d'utilité des alternatives modales en incluant les modes émergents et les paramètres qui n'ont pas encore été approfondis. Ces paramètres sont divisés en trois catégories : coût négatif, effet sur une autre variable, variable qualitative. Parmi les paramètres qui constituent un coût négatif, on retrouve le temps de préparation qui peut se traduire pour l'auto conducteur comme étant le temps nécessaire pour le déneigement du véhicule durant les tempêtes de neige. Pour l'autopartage et l'auto libre-service et le vélo libre-service, ce paramètre pourrait plutôt se traduire comme étant le temps nécessaire afin de réserver un véhicule ou s'assurer de sa disponibilité. Pour le transport en commun, le temps de préparation pourrait correspondre au temps nécessaire afin de vérifier l'horaire du service.

Parmi les paramètres qui auront un effet sur une autre variable, on retrouve la valorisation du temps de déplacement. Effectivement, les modes qui ne nécessitent pas une conduite de la part de l'utilisateur offrent la possibilité de faire quelque chose (travailler, lire, réfléchir) durant le trajet. La dépense d'énergie / activité physique est une autre variable qui aura un effet sur le temps de déplacement. Effectivement, pour certains usagers, le fait que les modes actifs entraînent une dépense d'énergie peut avoir un effet positif, car, un peu comme la valorisation du temps de déplacement, il permet de combiner temps de déplacement et activité physique. Ainsi, un usager pour qui l'activité physique quotidienne est importante n'aura pas nécessairement besoin d'aller courir ou faire du vélo pour subvenir à ce besoin. Néanmoins, pour une personne qui n'a pas les capacités physiques nécessaires, les modes actifs seront perçus négativement. Cet usager tentera plutôt d'éviter les modes nécessitant une trop grande dépense énergétique.

La troisième catégorie des paramètres des fonctions d'utilité pour les alternatives modales est celle des variables qualitatives. Ces variables dépendent de plusieurs autres paramètres. Effectivement, le degré de confort dépend d'autres variables telles que la fiabilité / disponibilité du service ainsi que du temps d'accès et temps d'attente. Le transport des biens est une autre variable qui dépend de différents paramètres. Il est toujours possible de transporter un minimum de biens, mais certains modes rendront cette tâche plus facile.

Tableau 18 : Paramètres des fonctions d'utilité pour les alternatives modales

Variables \ Modes	AC	CF	CP	APT	ALS	TX	TC	VE	VLS	MA
Temps de déplacement	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Temps additionnel	X	X	X	X	X	X				
Temps d'accès	X			X	X		X		X	
Temps d'attente						X	X			
Temps de préparation	X			X	X		X		X	
Essence	X									
Tarif/ abonnement			X	X	X	X	X		X	
Tarif de stationnement	X			X	X					
Assurance / immatriculation	X									
Usure du véhicule	X							X		
Fiabilité / Disponibilité	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Météo							X	X	X	X
Valorisation du temps de déplacement		X	X			X	X			X
Dépense d'énergie / Activité physique								X	X	X
Degré de confort	X	X	X	X	X	X	X			
Transport de biens	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Flexibilité	X	X		X	X	X		X	X	X
Positif pour l'environnement			X	X	X	X	X	X	X	X

AC Auto conducteur ALS Auto libre-Service VLS Vélo libre-Service
 CF Covoiturage familial TX Taxi MA Marche
 CP Covoiturage professionnel TC Transport en commun
 APT Autopartage VE Vélo

Coût négatif
Effet sur autre variable
Variable qualitative

Variables égocentrées du milieu bâti

Une méthode a été développée par Poliquin (2012) afin d'estimer certaines variables du milieu bâti au niveau du voisinage immédiat des ménages. Une zone tampon est ainsi créée à partir d'un paramètre rayon ou longueur réseau autour des ménages, ce qui permet la création d'une typologie de ménage basée sur les caractéristiques urbanistiques de leur voisinage. Effectivement, les données urbanistiques sont intégrées sous forme de couche au sein d'un système d'information géographique (SIG). Ces couches sont divisées en trois catégories : les points, les traits et les polygones. Chacun de ces types de couche permet l'estimation d'éléments particuliers. L'objectif est de créer un outil permettant d'automatiser l'estimation des variables afin d'en généraliser l'utilisation dans les analyses croisées et les modèles.

Différentes variables de densité de points peuvent donc être estimées telles que la densité de population, la densité d'origine et destination des déplacements de l'Enquête Origine-Destination de Montréal, la densité commerciale, la densité de station d'un service d'autopartage ou de vélo libre-service, la densité de stationnement, la densité d'intersection et la densité de passages-arrêts de transport en commun sur 24 heures.

Les couches de traits et polygones permettent aussi l'estimation de variables de densité, telles que la densité de la longueur du réseau routier, la densité de la longueur du réseau cyclable, la densité de surface des routes (Km²) et la densité de surface des parcs.

Caractérisation des chaînes de déplacements de l'Enquête Origine-Destination 2008

La création d'un fichier de chaînes de déplacement à partir des déplacements de l'Enquête Origine-Destination de Montréal selon la méthode de Valiquette (2010) permet l'estimation de différentes variables pour cet objet précis. Effectivement, on y retrouve le nombre de chaînes effectuées par une personne, le motif principal de la chaîne, le nombre d'activités, le nombre de boucles, la catégorie de chaîne, la durée totale de la chaîne, la distance totale de la chaîne et la séquence de modes utilisés pour compléter la chaîne. Toutes ces variables nous permettent ainsi de caractériser les chaînes de déplacements afin d'observer lesquelles auront un impact significatif sur le choix du mode de transport.

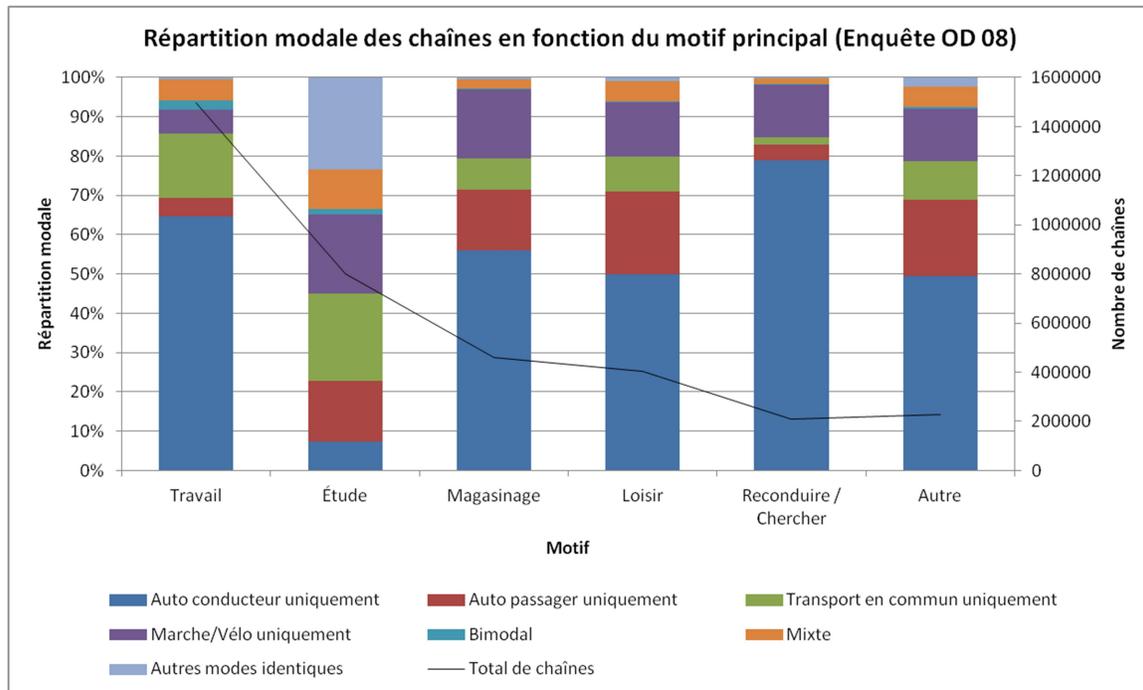


Figure 92 : Répartition modale des chaînes en fonction du motif principal

La Figure 92 présente la répartition modale des chaînes en fonction du motif principal. On peut y observer que la part modale de l'auto conducteur uniquement est la plus importante pour l'ensemble des motifs, à l'exception du motif étude. Ce qui est d'autant plus marquant pour les motifs travail (64,7%), magasinage (55,9%) et reconduire / chercher (78,9%). Les chaînes au motif étude sont quant à elles principalement effectuées en transport en commun (22,1%) ou à partir d'autres modes identiques (23,4%), on peut ici imaginer le bus scolaire pour les enfants du primaire et secondaire. Précisons que la catégorie autres modes identiques consiste en une chaîne effectuée par un même autre mode que ceux identifiés, pour l'ensemble des déplacements de la chaîne. La part modale des modes mixtes, bien qu'au total n'est pas très importante (5,8%), se concentrent principalement au sein des chaînes à motif étude (10%). On pourrait ainsi imaginer un scénario où une personne se fait reconduire au lieu d'étude en auto passager et revient au domicile en transport en commun. Finalement, le mode bimodal, qui au total détient la plus faible part modale (1,4%), retrouve tout de même sa concentration la plus importante au sein des chaînes à motif travail (2,3%).

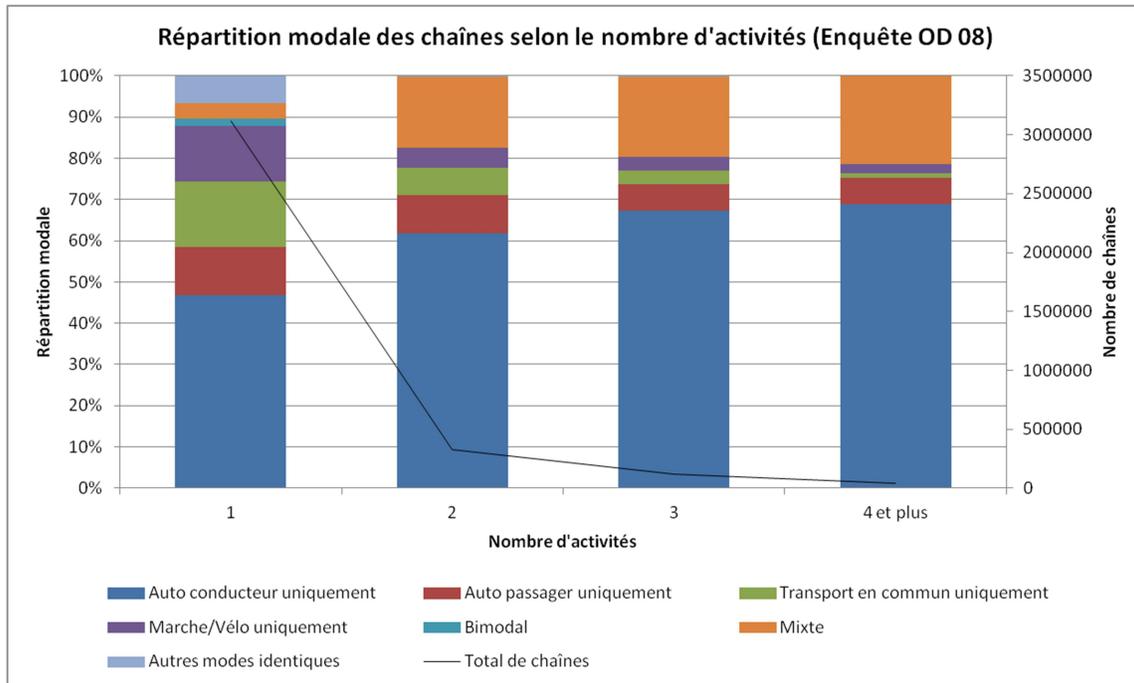


Figure 93 : Répartition modale des chaînes selon le nombre d'activités

À partir de la Figure 93, on observe la répartition modale des chaînes selon le nombre d'activités. On peut d'abord observer que les chaînes ne comportant qu'une seule activité sont de loin les plus importantes (86,6%). Plus le nombre d'activités augmente au sein d'une chaîne, plus la part modale de l'auto conducteur uniquement est importante. Cette observation vaut également pour les chaînes effectuées en mode mixte, bien que la proportion se stabilise pour les chaînes de deux activités et plus. C'est plutôt le contraire pour la part modale des autres modes de transport, plus le nombre d'activités augmente, plus la part modale diminue. Il est tout de même intéressant de constater que les chaînes effectuées à l'aide d'autres modes uniques (6,6%) et d'un mode bimodale (1,6%) sont exclusivement des chaînes ne comportant qu'une seule activité. Il est important de noter que l'étude de ces variables comporte un certain problème d'interdépendance. Comme on l'observe dans la Figure 93, le choix du mode semble être fait en fonction du nombre d'activités, mais le contraire est également vrai. Le nombre d'activités qu'un individu effectuera au sein de la chaîne est également déterminé en fonction du mode choisi ou imposé.

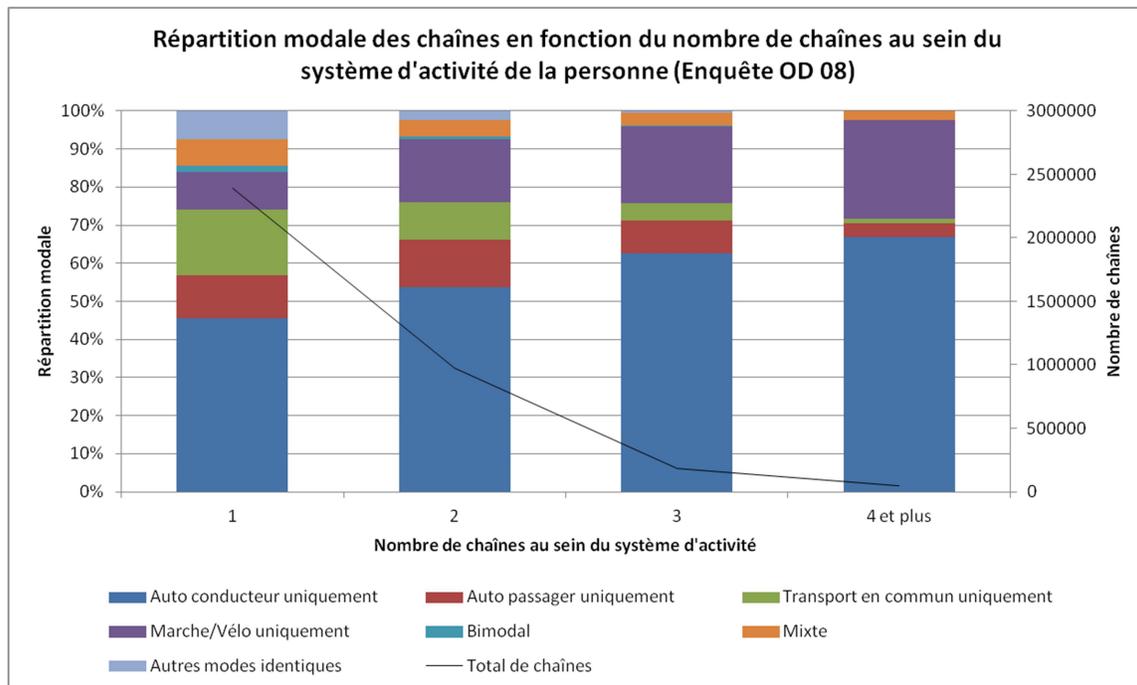


Figure 94 : Répartition modale des chaînes en fonction du nombre de chaînes

On peut observer l'effet du nombre de chaînes au sein du système d'activité d'une personne sur la répartition modale à partir de la Figure 94. On remarque d'abord que les systèmes d'activités ne comportant qu'une seule chaîne (66,4%) sont de loin les plus nombreux, suivi par les systèmes comportant deux chaînes (27%). Plus le nombre de chaînes augmente au sein du système d'activité, plus la part modale de l'auto conducteur uniquement augmente. On observe la même tendance pour la part modale de la marche / vélo uniquement. Également, on constate que la part modale du transport en commun uniquement diminue avec l'augmentation du nombre de chaînes au sein du système d'activité. On peut imaginer que cette tendance est due à l'heure de la journée à laquelle les chaînes suivantes sont effectuées, ainsi qu'à leur motif. L'offre de service du transport en commun n'est certainement pas la même à l'heure où une personne effectue sa première chaîne, qu'à l'heure où elle effectue sa quatrième chaîne de la journée. De plus, tel que le présente la Figure 95, la répartition des motifs varie beaucoup en fonction de la séquence de la chaîne au sein du système d'activité. Effectivement, les parts des chaînes à motif travail et étude diminuent plus la chaîne est tardive au sein du système d'activité. Au contraire, on observe plutôt une augmentation de la part des chaînes à motif reconduire / chercher, magasinage et loisir, au sein des chaînes suivantes par rapport à la première du système d'activité.

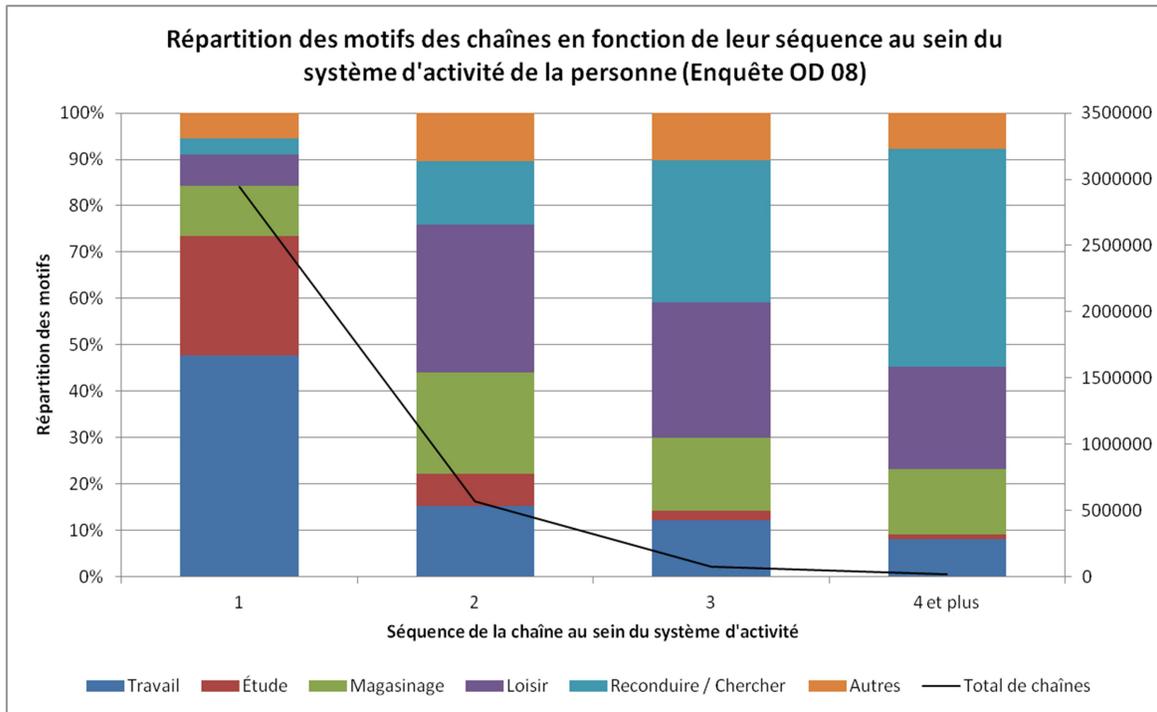


Figure 95 : Répartition des motifs des chaînes en fonction de leur séquence au sein du système d'activité

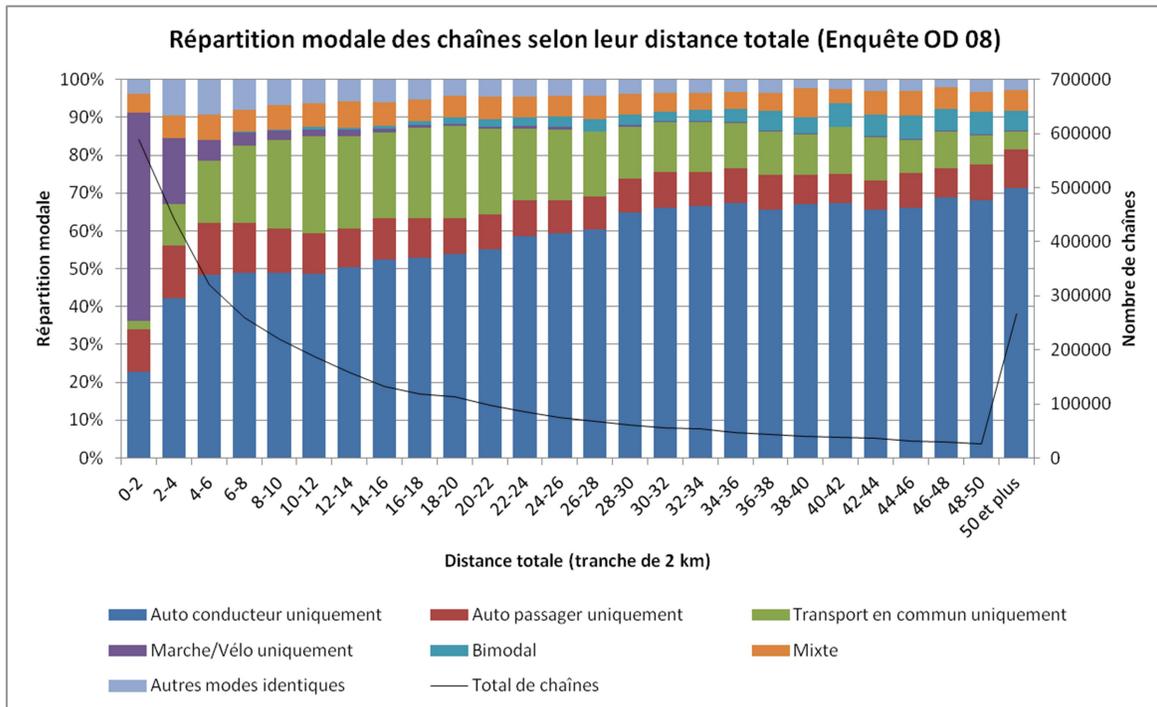


Figure 96. Répartition modale des chaînes selon leur distance totale

La Figure 96 présente la répartition modale des chaînes selon leur distance totale. On y observe d'abord que la part modale de l'auto conducteur uniquement augmente avec l'augmentation de la distance totale de la chaîne. Ensuite, la part modale de la marche / vélo uniquement n'est significative que pour les chaînes de petite distance alors que celle du transport en commun et du bimodal ne le devient qu'à partir d'une certaine distance. Effectivement, le transport en commun n'est pas un mode populaire pour les chaînes de moins de 2 km alors que le bimodal n'est pas un mode réellement considéré pour les chaînes de moins de 18 km, distance à partir de laquelle la part modale du bimodal tend à augmenter.

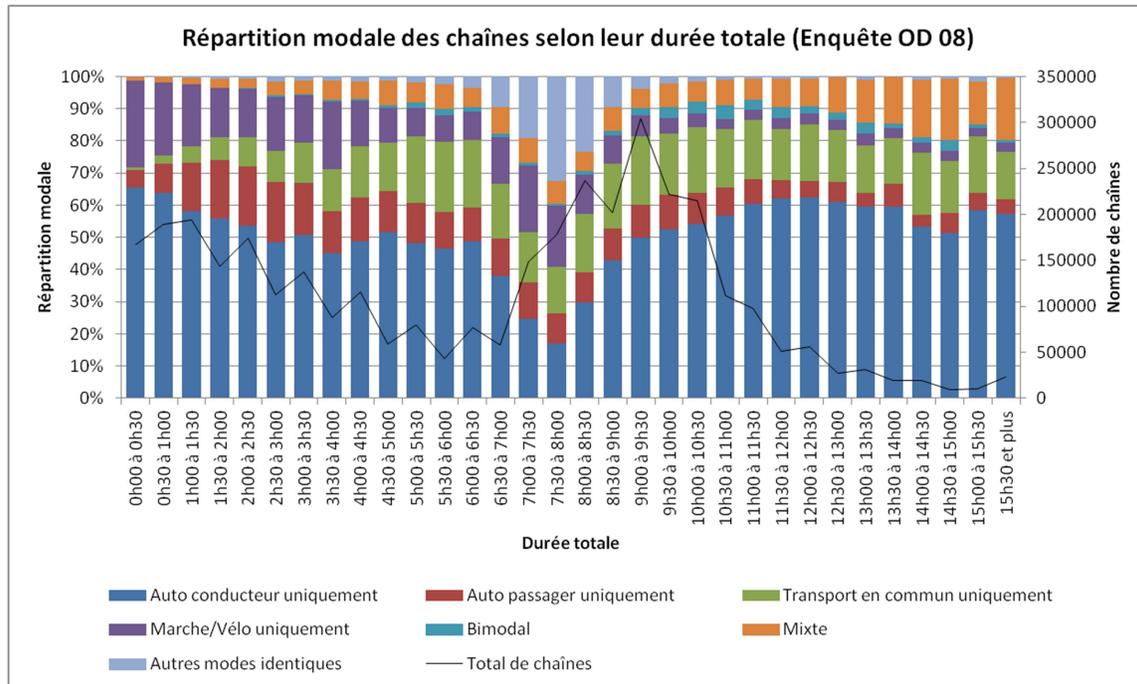


Figure 97 : Répartition modale des chaînes selon leur durée totale

À partir de la Figure 97, on observe la répartition modale des chaînes en fonction de leur durée totale. D'abord, on remarque que la part modale de l'auto conducteur est relativement stable peu importe la durée de la chaîne, à l'exception des chaînes d'une durée de 6h à 9h pour lesquelles la part modale d'autres modes identiques est plus importante. On peut imaginer que les autres modes identiques ont une part modale importante pour cette durée de chaîne étant donné la forte proportion d'étudiants du primaire et secondaire qui ont des chaînes correspondant à cette durée. Ainsi, le bus scolaire a de fortes chances de correspondre à cet autre mode identique. Cette figure nous permet également d'observer que la part modale de la marche / vélo uniquement tend à diminuer avec l'augmentation de la durée de la chaîne alors que celle du transport en commun uniquement et des modes mixtes tend à augmenter.

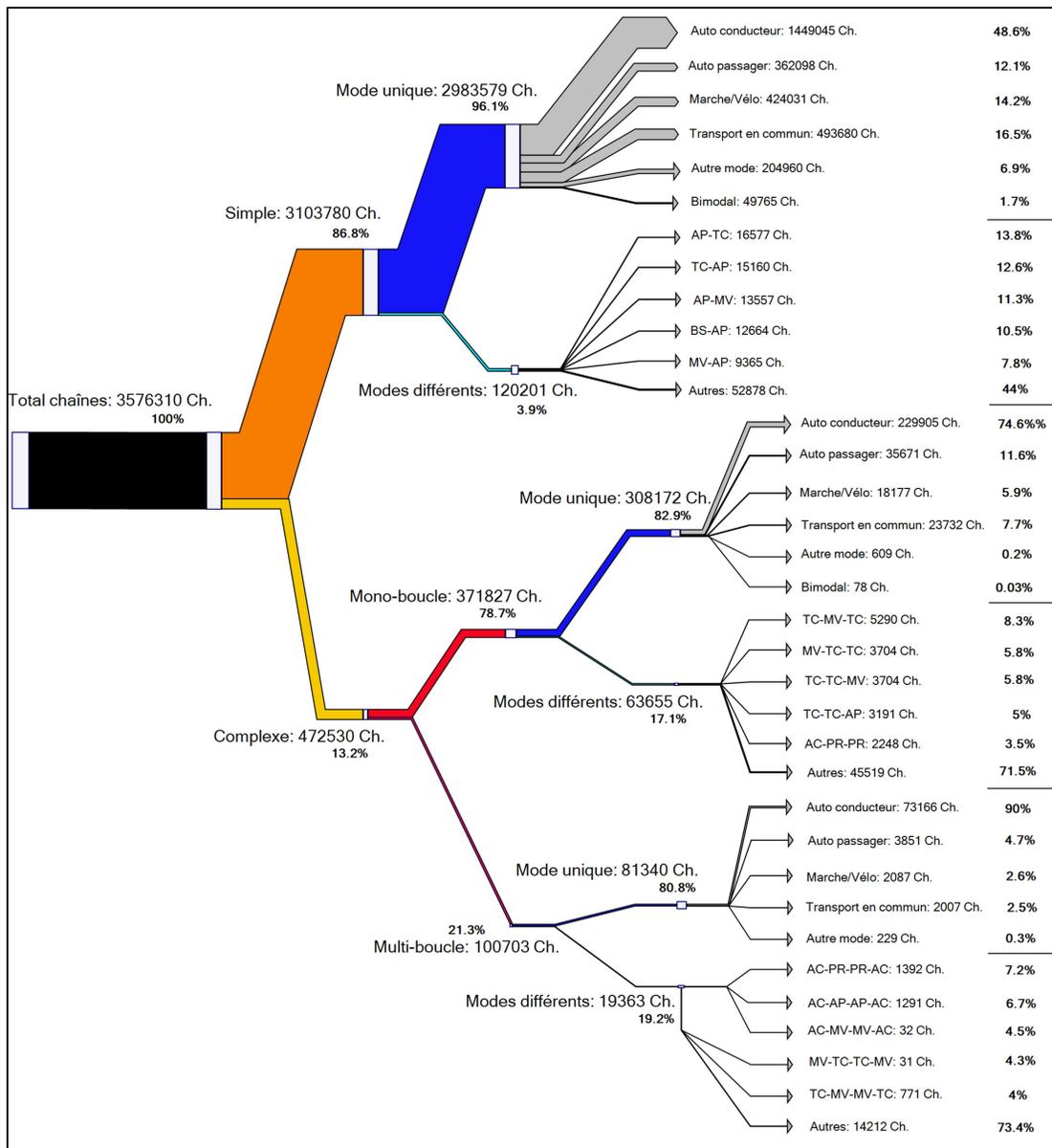


Figure 98 : Répartition modale des chaînes selon le type, toutes chaînes confondues (Enquête OD 08)

La Figure 98 nous permet d'observer la répartition modale des chaînes en fonction du type de chaîne. On remarque d'abord l'importante proportion de chaînes simples, principalement celles effectuées à partir d'un mode unique. En étudiant de plus près la part modale pour chacune des catégories de chaîne, l'auto conducteur est toujours le mode le plus utilisé. Il est tout de même intéressant de constater que pour les chaînes simples, le transport en commun et la marche / vélo sont également des modes ayant une part modale importante. Néanmoins, à partir du moment où la chaîne est complexe, la part modale de l'auto conducteur augmente significativement alors que celle du transport en commun et de la marche / vélo diminue drastiquement, davantage lorsque la chaîne complexe est multi-boucle. Il est à noter que ces observations sont faites sur l'ensemble des chaînes de déplacement, tous motifs confondus. Bien évidemment, la part modale selon le type de chaîne varie en fonction du motif principal de la chaîne.

Le défi méthodologique

Afin d'intégrer les chaînes de déplacements au sein des modèles de choix et transfert modal, il est important de premièrement définir une typologie normalisée des différentes chaînes. L'objectif de cet exercice est ainsi d'être en mesure de détailler l'ensemble des choix de séquence de mode possibles pour chaque type de chaîne existante. Néanmoins pour ce faire, un exercice préalable est nécessaire, soit la définition des types de modes.

Définition d'une typologie des modes de transport

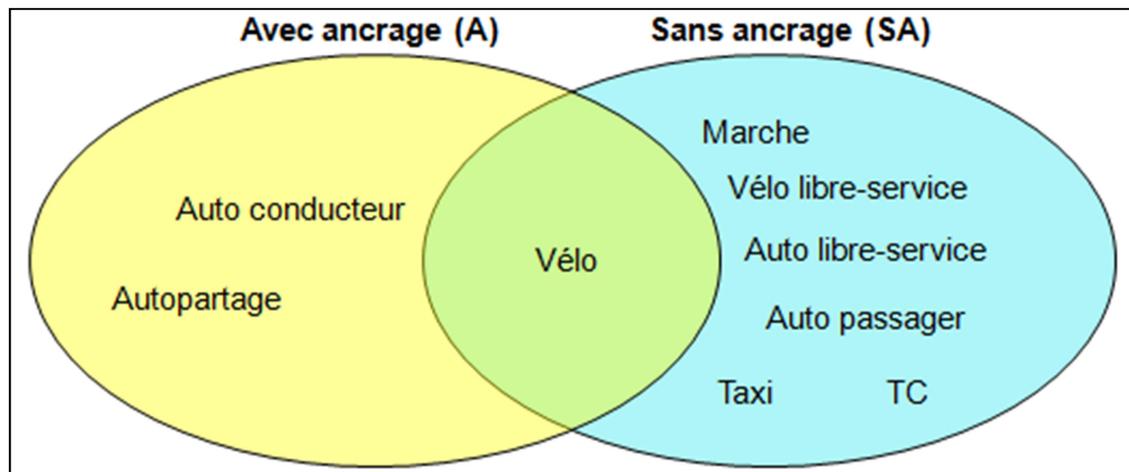


Figure 99 : Catégories des modes de transport

Il est primordial de considérer que certains modes ne peuvent être abandonnés durant la chaîne et nécessitent donc d'être réutilisés pour un ou plusieurs des déplacements suivants, jusqu'à l'arrivée à un point d'ancrage, généralement le domicile. C'est ainsi à partir de cette caractéristique que deux catégories de modes de transport sont définies : les modes avec ancrage et les modes sans ancrage.

Les modes avec ancrage sont ceux qui nécessitent d'être réutilisés jusqu'à un point d'ancrage, sinon ils ne seront plus disponibles pour compléter la chaîne ou pour effectuer une autre chaîne. Par exemple, si une personne prend sa voiture pour se rendre au travail, elle n'aura d'autre choix que de la reprendre pour la suite de sa chaîne de déplacements et ainsi revenir vers son domicile, sinon elle ne pourra la reprendre le lendemain pour effectuer ses déplacements. Tel que le démontre la figure 8, cette caractéristique agit comme une contrainte sur l'auto conducteur, l'autopartage et le vélo. Néanmoins, le vélo est quant à lui un cas particulier. Il possède des caractéristiques des deux catégories, car il faut le ramener à domicile, mais il offre une certaine transportabilité qui permet de l'apporter au sein d'un autre mode. Pour des fins pratiques, on le considère tout de même comme un mode avec ancrage.

Les modes sans ancrage sont ceux qui offrent plus de liberté pour les déplacements suivants de la chaîne. Effectivement, si une personne se rend au travail en transport en commun, elle se trouve à avoir un plus grand éventail de mode disponible pour effectuer son déplacement de retour à la maison, car elle n'est pas contrainte à devoir ramener un véhicule. Tel que vu sur la Figure 99, la catégorie des modes sans ancrage est constituée de la marche, le vélo libre-service, l'auto libre-service, l'auto passager, le taxi et le transport en commun.

Cette catégorisation est d'autant plus importante dans le cadre d'un modèle de choix ou transfert modal, car la probabilité qu'un déplacement se fasse à l'aide d'un certain mode ou transfère vers un mode quelconque doit tenir compte de la catégorie de mode des déplacements précédents de la chaîne. Effectivement si le mode utilisé pour le premier déplacement de la chaîne se fait à partir d'un mode avec ancrage, il est peu probable que l'ensemble des déplacements suivants se fasse à l'aide d'un autre mode à moins d'une chaîne multi-boucle où l'on retrouverait plus d'un point d'ancrage.

Définition d'une typologie normalisée de chaîne de déplacements

Une fois les modes catégorisés, il est possible de développer une typologie de chaîne permettant d'énumérer les possibilités de séquences modales en fonction du type de mode, soit avec ou sans ancrage. Cet exercice doit être fait pour chacun des types de chaîne observés dans l'Enquête Origine-Destination de Montréal, mais principalement pour les cinq types de chaîne les plus fréquents tels que présentés dans le Tableau 19. Ces cinq types de chaîne correspondent à 98,26% de l'ensemble des 3 576 310 chaînes dérivées des déplacements de l'Enquête Origine-Destination de 2008.

Tableau 19 : Les 5 types de chaînes de déplacements les plus fréquents (Enquête OD 08)

Types de chaînes de déplacements	%
Simple	86.24%
Complexe Mono-boucle avec 2 activités	8.42%
Complexe Multi-boucle avec 3 activités	1.66%
Complexe Mono-boucle avec 3 activités	1.53%
Complexe Multi-boucle avec 2 activités	0.41%
Total des 5 premiers types de chaînes	98.26%

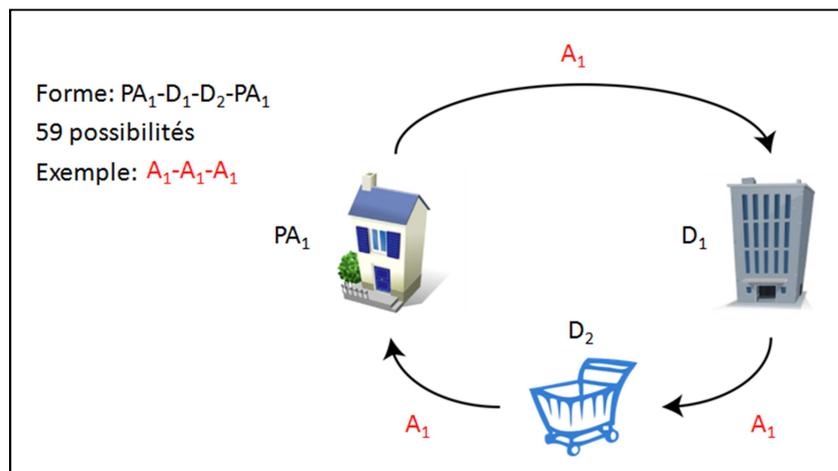


Figure 100 : Chaîne complexe mono-boucle avec 2 activités

Par exemple, pour une chaîne complexe à deux activités, telle qu'illustrée à la Figure 100 : Chaîne complexe mono-boucle avec 2 activités, nous pouvons imaginer la suivante : point d'ancrage 1 (PA) – destination 1 (D) – D 2 – PA 1. Si on ne considère pas la possibilité d'intégrer les déplacements bimodaux à la chaîne, on retrouve 59 possibilités de séquence de mode, parmi les trois modes avec ancrage et les six modes

sans ancrage, afin d'effectuer cette chaîne. Dans le cas de cet exemple, l'individu utilise un mode avec ancrage à son premier déplacement, il doit donc l'utiliser jusqu'à son arrivée au point d'ancrage, soit le retour au domicile. Ce mode pourrait se traduire par l'auto conducteur pour chacun des déplacements.

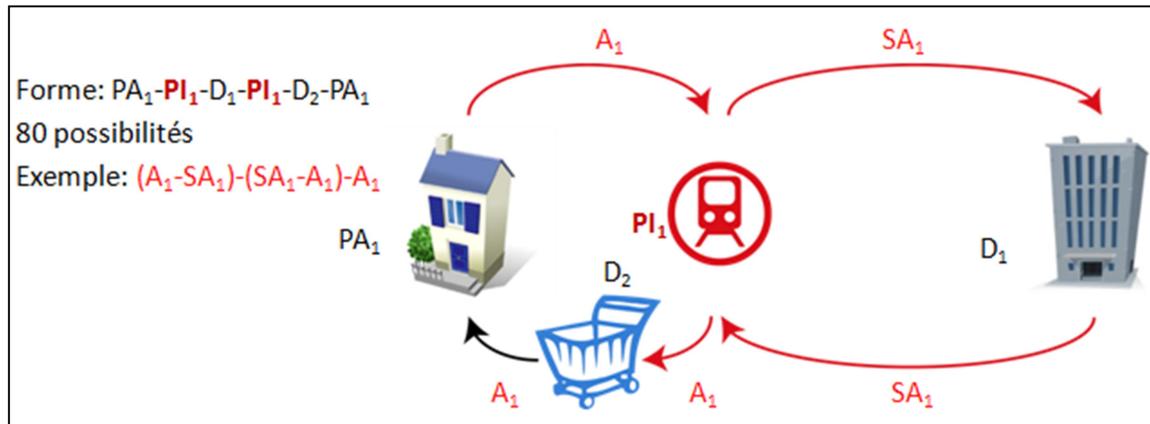


Figure 101 : Chaîne complexe mono-boucle avec 2 activités et un point d'ancrage intermédiaire

Afin d'énumérer les possibilités de séquence de mode pour cette même chaîne, mais en intégrant les déplacements bimodaux, un concept supplémentaire est nécessaire, soit celui de point d'ancrage intermédiaire (PI). Un point d'ancrage intermédiaire peut correspondre à une gare ou une station de transport en commun où un individu transfère d'un mode avec ancrage vers un mode sans ancrage. Il devra ainsi nécessairement revenir à ce point d'ancrage intermédiaire afin de récupérer son mode avec ancrage. Ce point d'ancrage est considéré comme étant intermédiaire, car il ne constitue pas un lieu d'activité, donc il n'est pas une destination de la chaîne de déplacements. Tel qu'illustré à la Figure 101, cet ajout d'un point d'ancrage intermédiaire à la forme de la chaîne complexe mono-boucle à deux activités, augmente les possibilités de séquence de mode.

Le défi d'opérationnalisation

Le troisième défi est celui d'opérationnaliser les avancés de cette recherche. C'est-à-dire, de déterminer les étapes nécessaires afin que la méthode développée soit intégrée au sein d'un outil qui puisse être utilisé dans le domaine de la recherche ou dans un cadre professionnel.

Premièrement, une application permettant le calcul des variables égocentrées est en développement. La première version de cet outil ne sera disponible que pour les travaux académiques de la Chaire Mobilité et ne permettra pas dès le départ d'estimer toutes les variables nommées précédemment, mais cet outil présente tout de même un potentiel intéressant pour des utilisations futures. Effectivement, à partir du web, différents types d'utilisateur pourraient avoir accès à cet outil. Ainsi, selon le profil de l'utilisateur, l'accès à certaines données pourrait être contrôlé et les résultats pourraient être plus détaillés afin d'en faire des analyses croisées, ou plus vulgarisés pour en faciliter la compréhension.

Deuxièmement, les modèles de transfert et choix modal qui seront testés dans le cadre de ces travaux ne prendront pas en compte l'ensemble des alternatives modales disponibles, car l'estimation de leurs paramètres n'est pas encore tout à fait développée. De plus,

certaines des nouveaux paramètres proposés pour les différents modes ne sont pas encore assez développés pour être intégrés à un modèle. Ainsi, il sera nécessaire de poursuivre l'étude de ces paramètres et de trouver un moyen de les estimer adéquatement afin de vérifier s'ils ont réellement un impact important sur le choix du mode de transport et ultimement pour les intégrer aux modèles.

Troisièmement, afin d'étudier l'interdépendance entre le choix du mode de transport et la chaîne de déplacements, il est nécessaire de créer un fichier de chaînes de déplacements à partir des différents déplacements de l'Enquête Origine-Destination. Néanmoins, cette méthode n'est pas parfaite, car on y dénombre certaines erreurs et incohérences. Les incohérences dans les fichiers de déplacements deviennent très souvent des incohérences dans les fichiers de chaînes de déplacements. Par exemple, certaines chaînes simples sont considérées comme étant multi-boucle. Ainsi, en intégrant l'étude de la structure spatio-temporelle de la chaîne aux différentes enquêtes, cela faciliterait grandement sa compréhension.

3.5.5 Conclusion

À travers ces travaux qui tentent de mettre en évidence l'interdépendance du choix du mode de transport et de la structure spatio-temporelle de la chaîne de déplacements, trois défis s'imposent. D'abord, le défi d'analyse permet d'étudier les variables qui ont un effet sur le choix du mode de transport, soit les variables des alternatives modales disponibles, les variables égocentrées et celles des chaînes de déplacements. Ensuite, le défi méthodologique est principalement un exercice de définition afin d'intégrer les éléments étudiés au sein des modèles de transfert et choix modal. Ainsi, une définition d'une typologie des modes de transport est créée, ainsi qu'une typologie normalisée des chaînes de déplacements. Pour terminer, le défi d'opérationnalisation est celui de réussir à rendre la méthode développée concrète pour une utilisation future. Ainsi, un outil de calcul des variables égocentrées est en développement et différents modèles seront testés afin d'évaluer le réel potentiel de l'intégration des variables de la chaîne de déplacements.

Pour conclure, la portée de cette recherche est de contribuer au raffinement des outils de planification en poussant la compréhension de l'impact des chaînes de déplacements sur le choix du mode de transport. Néanmoins, cela implique différents obstacles tels que l'introduction de nouveaux modes alternatifs, la modélisation des séquences multimodales et l'estimation d'indicateurs qui influencent le choix du mode à partir des attributs de la chaîne de déplacement.

3.6 Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements

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

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

3.6.1 Introduction

Malgré son importance, le stationnement fait l'objet de peu d'études, bien qu'un véhicule passe en moyenne 95 % du temps stationné (Morency et Verreault, 2014). « La gestion du stationnement permet de faire un pont entre les domaines du transport et de l'utilisation du sol et doit avoir trois objectifs : le renouvellement des véhicules, ajouter des contraintes pour les automobilistes, et la génération de revenus.» [traduction libre] (Marsden, 2006). Les politiques de stationnement peuvent avoir des effets néfastes, notamment en encourageant les professionnels de l'aménagement urbain à surdimensionner les espaces de stationnement (Shoup, 1999).

Plusieurs outils peuvent être utilisés afin de pouvoir gérer la demande de stationnement. Un exemple d'outil se nomme le parking cash-out, qui consiste à offrir une compensation financière à un employé, à condition que celui-ci renonce à son espace de stationnement. Aux États-Unis, une étude de la pratique de parking cash-out auprès de huit compagnies a montré les effets suivants : « une réduction du nombre d'automobilistes voyageant seuls de 17 %, une diminution de 12 % du nombre de véhicules-kilomètres parcourus et une augmentation de l'utilisation du covoiturage de 64 %.» [traduction libre] (Shoup, 1997). Dans cette optique de préférences des utilisateurs, le coût des différentes activités de stationnement ont été étudiées et semblent varier selon le motif de déplacement (Axhausen, & Polak, 1991).

La collecte de données manuelle sur le terrain peut se faire de plusieurs manières : il peut s'agir d'enquêtes en continu ou bien d'enquêtes à intervalles réguliers (Slinn, 2005). Il n'est pas non plus nécessaire d'effectuer une collecte de données manuelle sur le terrain pour analyser l'utilisation des stationnements et les données d'enquêtes Origine-Destination peuvent servir de source de données (Morency, Saubion, & Trépanier, 2006). En ce qui concerne le stationnement hors-rue, où les espaces de stationnement sont généralement ordonnés en rangée, des algorithmes peuvent permettre de déterminer leur capacité à l'aide d'images aériennes (Seo, & Urmson, 2011).

Le système développé n'est pas unique. En effet, des systèmes de stationnements intelligents urbains qui permettent de faire varier les tarifs de stationnement existent déjà, notamment à San Francisco (San Francisco Municipal Transportation Agency, 2013). De plus certaines autorités municipales ont instauré des systèmes permettant de connaître la localisation des panneaux de stationnement sur leur territoire (New York City Department of Transportation, 2013).

3.6.2 Objectifs

L'objectif principal de ce projet de recherche est de développer un système d'information sur les stationnements, dans le contexte montréalais, qui permet d'évaluer l'offre de stationnement (en termes d'espaces disponibles), ainsi que sa variabilité spatiale et temporelle. Ce système permettra ensuite d'analyser l'utilisation des stationnements.

Les sous-objectifs suivants sont poursuivis :

- Créer des outils automatisés de traitement et d'analyse des données de réglementation de stationnement de la ville de Montréal, dans le but d'étudier l'offre de stationnement ainsi que sa variabilité dans le temps et dans l'espace.
- Développer des procédures permettant d'analyser la demande de stationnement à l'aide des données de déplacement de l'enquête Origine-Destination (O-D).
- Développer un système d'information qui assure une intégration cohérente des estimés d'offre et des comportements d'utilisation des stationnements.

3.6.3 Méthodologie générale

La méthodologie proposée dans ce projet de recherche consiste à développer un système de gestion des stationnements. Pour ce faire, les principales étapes suivantes doivent être réalisées :

- Tout d'abord, il s'agit de valoriser les données existantes de panneaux de stationnement de la ville de Montréal. Elles seront intégrées à un réseau routier et les données cadastrales seront aussi utilisées. Cela permettra de déterminer des capacités de stationnement sur rue.
- La deuxième étape consiste à utiliser les données de l'enquête Origine-Destination afin de constituer des profils d'accumulation de véhicule et de dériver des capacités théoriques de stationnement.
- La troisième étape consiste à créer et calibrer un système d'information sur les stationnements, et à analyser l'utilisation des stationnements à Montréal. Le système développé permet de faire une validation des données de l'enquête O-D et des capacités de stationnement sur rue.

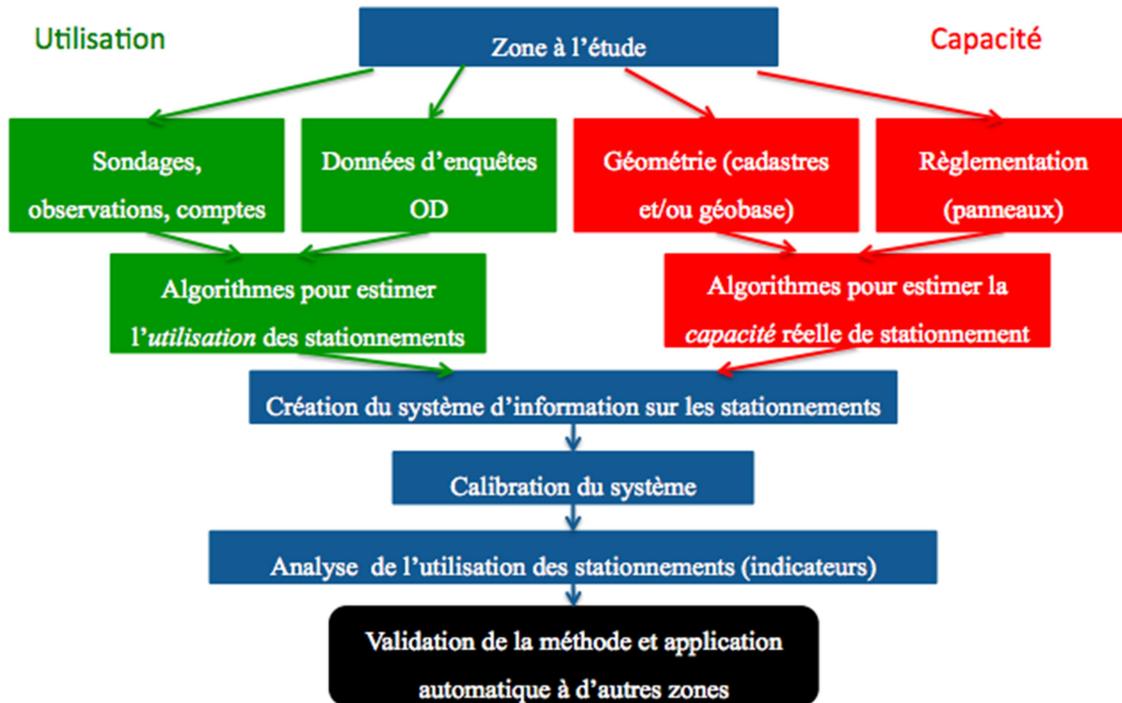


Figure 102 : Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements

3.6.4 Détermination des capacités de stationnement sur rue à l'aide des données de réglementation

Les capacités de stationnement sur rue ont été déterminées à l'aide de la base de données sur les panneaux de stationnement de la ville de Montréal, qui a été récupérée sur le portail de données ouvertes. La base de données compte 116 950 panneaux (voir Figure 103). Il est à noter que pour plusieurs arrondissements, les données sont partielles ou manquantes, la responsabilité de rendre disponibles les données des panneaux de stationnement appartenant aux arrondissements.

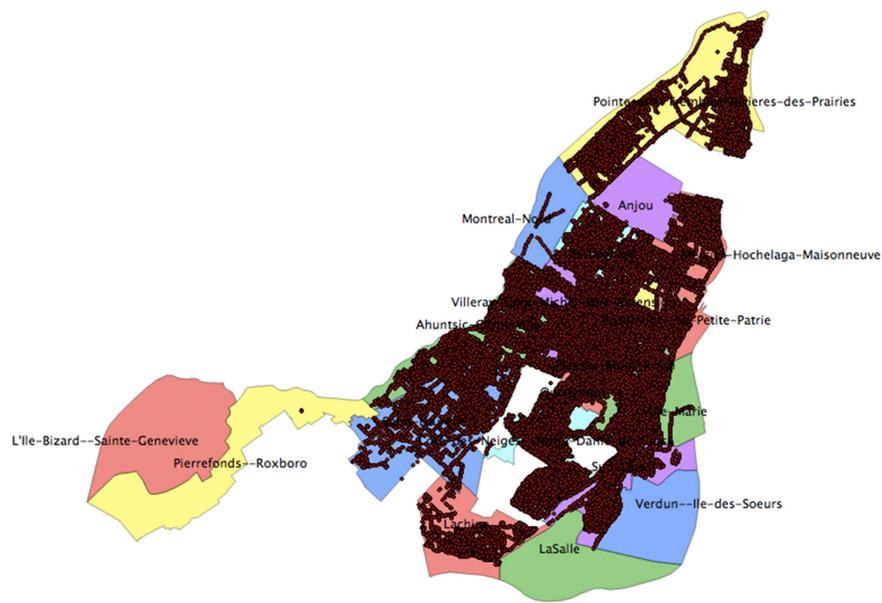


Figure 103 : Panneaux de stationnement de la ville de Montréal

Une codification de l’information contenue sur les panneaux de stationnement a été faite, afin de pouvoir développer l’outil de capacités de stationnement. Il s’agit en fait d’une discrétisation d’une variable textuelle (la variable DESCRIPTION). Le Tableau 20 illustre un exemple de codification pour un type de panneau particulier parmi les 1728 types de panneaux de stationnement qui ont été identifiés.

Tableau 20 : Exemple de codification d’un type de panneau de stationnement

CODE_RPA	SB-BF
DESCRIPTION	\P 07h-09h LUN. MER. 1 MARS AU 1 DEC.
DUREE_MAXIMALE_MINUTES	
Q	0
LU	1
LU_DEBUT	7
LU_FIN	9
MA	0
ME	1
ME_DEBUT	7
ME_FIN	9
JE	0
VE	0
SA	0
DI	0
ANNUEL	0
DATE_DEBUT_1	60
DATE_FIN_1	335
TYPE	

Les différents types de panneaux de stationnement ont été agrégés dans 11 catégories (il s'agit de la variable TYPE). Ces catégories correspondent au type de clientèle visée par la réglementation du panneau de stationnement. Le Tableau 21 montre les types de clientèles qui ont été déterminées.

Tableau 21 : Type de clientèle concernée par le panneau

Type de clientèle visée	code
autobus scolaire	1
autobus autre	2
handicapé	3
livraison/camions	4
résident (vignette)	5
taxi	6
visiteurs	7
véhicules d'urgence	8
entretien	9
garderie	10
autre	11

Par la suite, le réseau routier des centres de voie (la géobase) a été utilisé afin de créer un réseau routier de bords de rue (BDR). Une largeur de voie de 10 mètres a été utilisée pour l'analyse. Finalement, les éléments qui peuvent affecter les capacités de stationnement ont été intégrés aux BDR, ce qui permet de calculer de manière dynamique la capacité de stationnement sur rue. Les polygones (entrées privées, ruelles et rayons de courbure) proviennent des données cadastrales de la ville de Montréal. Les points (panneaux et bornes d'incendie) proviennent du portail de données ouvertes de la ville de Montréal. La Figure 104 illustre le processus.

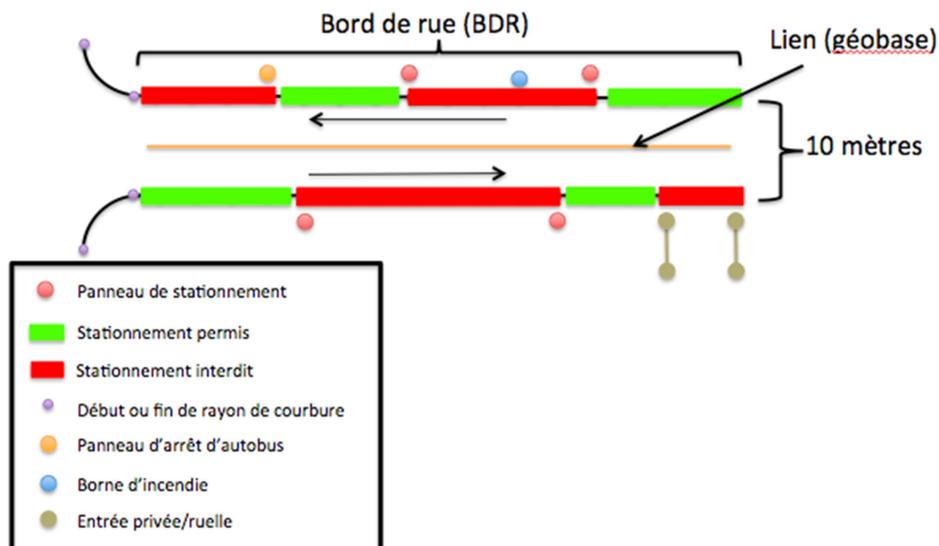


Figure 104 : Détermination des capacités de stationnement sur rue

3.6.5 Profils d'accumulation de véhicules (PAV)

Les profils d'accumulation de véhicules consistent à déterminer, pour une période de temps donnée, le nombre de véhicules stationnés sur une zone d'étude (Morency, et al., 2006). Les données de l'enquête Origine-Destination permettent de déterminer des profils d'accumulation de véhicules pour la région de Montréal. Le type de stationnement utilisé est aussi pris en compte. À l'aide des profils d'accumulation de véhicules, il est possible de déterminer des capacités théoriques de stationnement (CTS) (Diallo, 2012), qui correspondent à l'accumulation maximale de véhicules sur une zone d'étude.

3.6.6 Résultats

Plusieurs types de résultats peuvent être présentés. Par exemple, pour le stationnement sur rue, il est possible de produire des cartes qui montrent, à un instant donné, la variabilité spatiale des capacités de stationnement. En superposant les cartes, il est possible de créer des animations. La Figure 105 montre un exemple de visualisation fait dans un système d'information géographique, le lundi à 12 :00. On peut constater que sur le réseau routier local, le stationnement est majoritairement permis, qu'il soit restreint à un type de clientèle ou non. Sur le réseau routier artériel, le stationnement est interdit sur la plupart des tronçons.

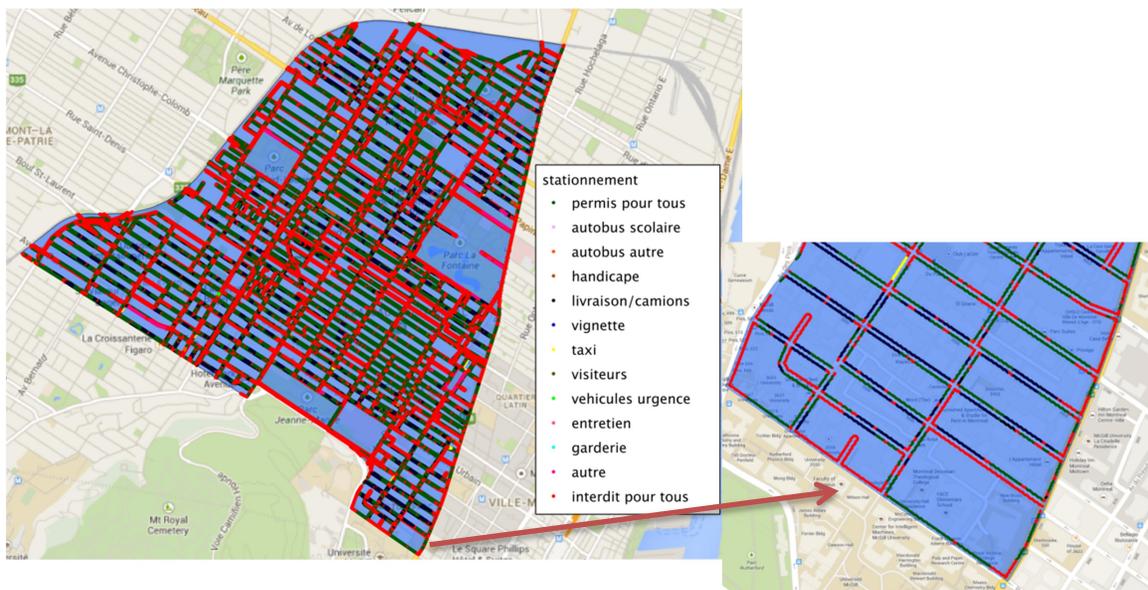


Figure 105 : Exemple de visualisation de l'outil de capacité de stationnement sur rue

L'outil développé permet aussi de connaître le nombre d'espaces de stationnement disponibles à travers les jours de la semaine. Il existe aussi une variabilité mensuelle qui n'est pas montrée ici. La Figure 106 montre la variation des capacités de stationnement sur rue gratuit. Les capacités de stationnement ont été déterminées en faisant l'hypothèse d'une longueur de véhicule de 7 mètres (Diallo, 2012). La capacité maximale est atteinte durant la nuit, puisqu'il s'agit de la période de la journée où le nombre de panneaux actifs interdisant ou restreignant le stationnement est minimal. Certains panneaux de stationnement s'appliquent aux périodes de pointes de l'avant-midi et de l'après-midi, ce qui a pour effet de réduire les capacités de stationnement lors de ces périodes.

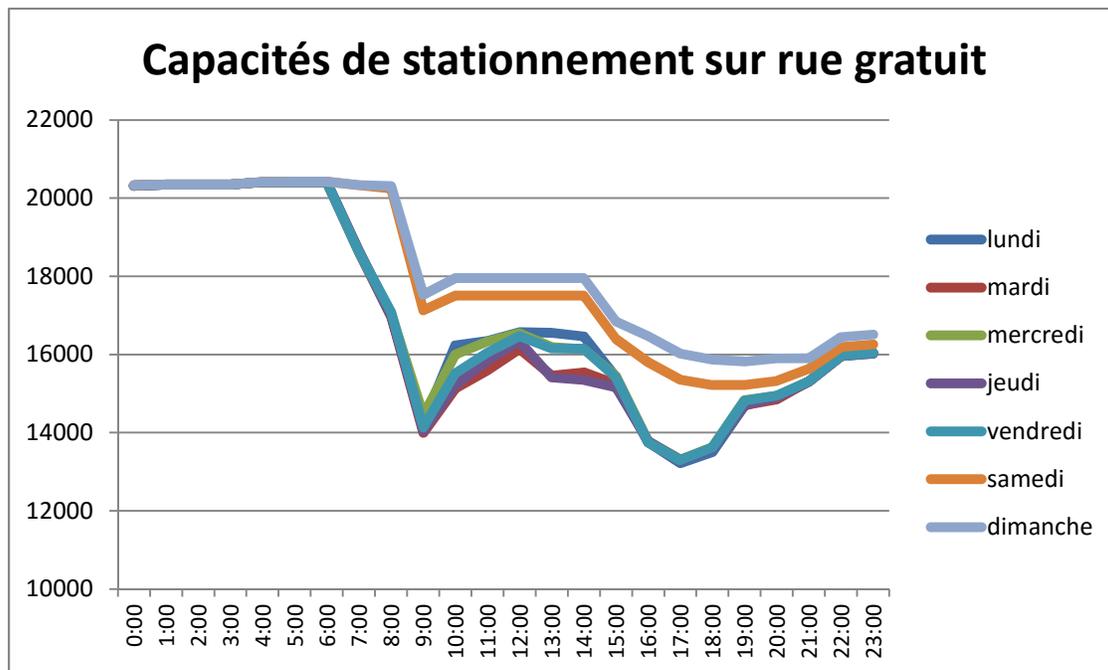


Figure 106 : Capacités de stationnement sur rue gratuit

La Figure 107 illustre les capacités de stationnement sur rue réservé aux résidents. Le type de panneau le plus fréquent pour ce type de stationnement est actif de 9 :00 à 23 :00, ce qui signifie que les capacités de stationnement sont maximales lors de cette période. D'autres types de panneaux sont actifs de 15 :00 à 23 :00, ce qui augmente davantage les capacités de ce type de stationnement en soirée. De plus, la variabilité journalière est relativement faible pour ce type de stationnement, puisque la réglementation s'applique généralement du lundi au samedi.

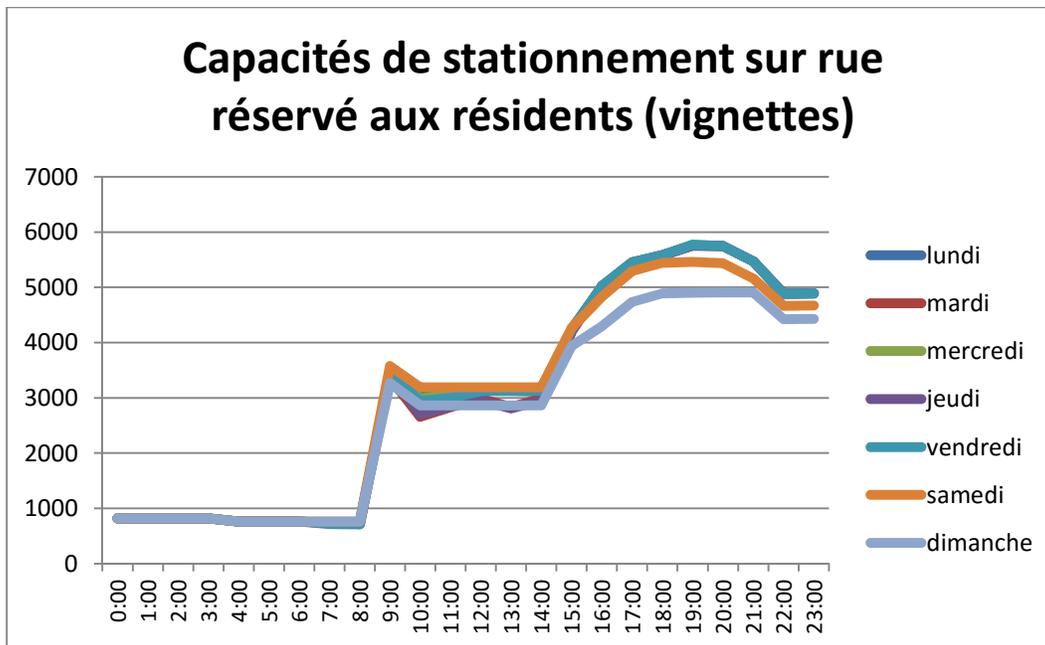


Figure 107 : Capacités de stationnement sur rue réservé aux résidents (vignettes)

La Figure 108 illustre la variation au cours de la journée du nombre de véhicules des résidents de l'arrondissement du Plateau Mont-Royal (PMR). Il y a 14711 véhicules qui sont immobiles sur l'ensemble de la journée, ce qui représente 45,2 % des 32568 automobiles possédés par les ménages de l'arrondissement.

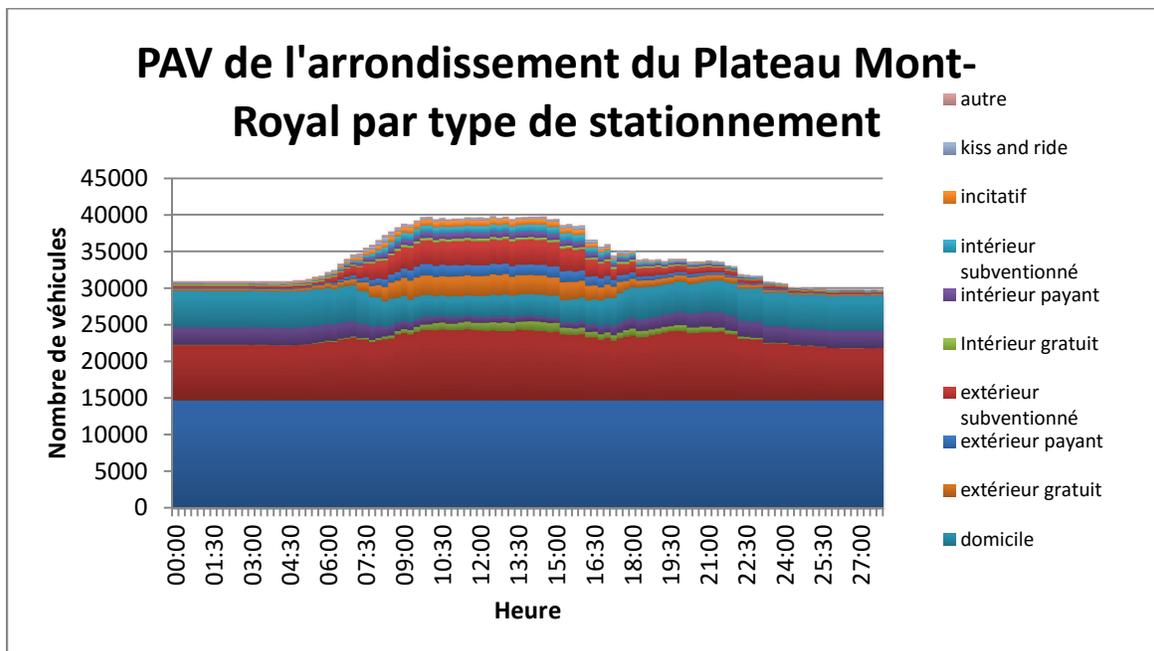


Figure 108 : PAV par type de stationnement dans l'arrondissement du Plateau Mont-Royal (PMR)

La Figure 109 illustre la variation journalière du nombre de véhicules stationnés dans le territoire de l'arrondissement du Plateau-Mont-Royal (PMR) selon le motif de

déplacement. Ce graphique est cohérent avec les patrons de déplacements typiques des personnes résidant dans la grande région de Montréal. En effet :

- Durant la nuit, les véhicules sont au domicile des résidents
- Durant la journée, la plupart des véhicules stationnés ont été utilisés pour effectuer des déplacements de type travail ou étude.
- Les actes de stationnement ayant comme motif de déplacement loisir sont principalement faits en soirée.
- Les véhicules stationnés pour un motif de retour au domicile le sont principalement en après-midi et (surtout) en soirée.

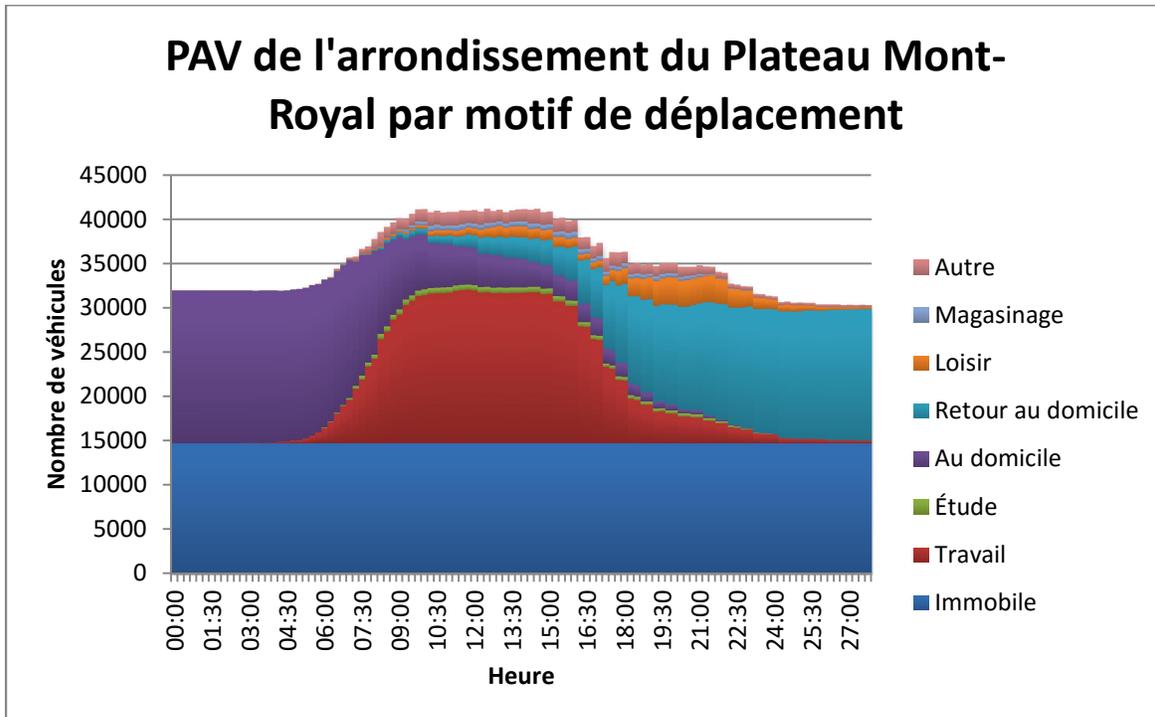


Figure 109 :PAV par motif de déplacement dans l'arrondissement du Plateau-Mont-Royal (PMR)

Il est possible de comparer les données de l'enquête O-D avec les données de l'outil de capacités. Cette comparaison peut être faite de trois manières :

- Spatialement, en intégrant dans un système d'information géographique les données sur les véhicules stationnés provenant de l'enquête O-D (on suppose que le lieu de destination est le lieu de stationnement) et les données provenant de l'outil de capacités de stationnement sur rue. La Figure 110 illustre un exemple de visualisation fait avec les données sur le stationnement sur rue réservé aux résidents. Les tronçons où ce type de stationnement est permis sont identifiés en bleu, et les points rouges représentent les véhicules stationnés.

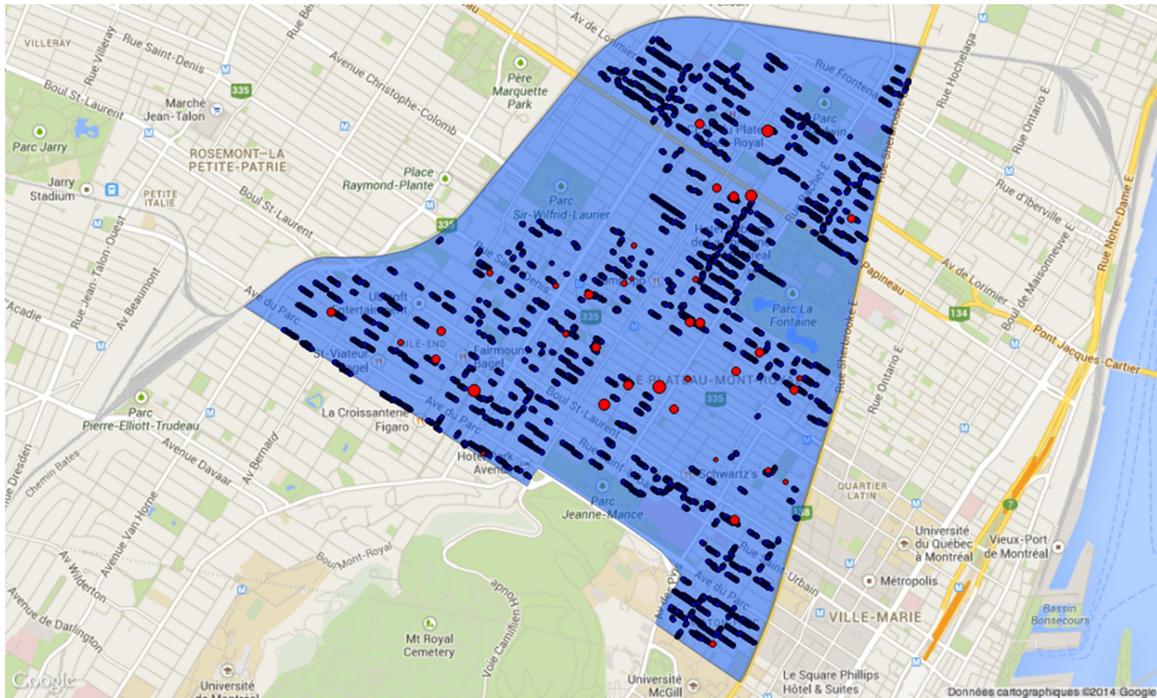


Figure 110 : Système d'information intégrant les données de capacités sur rue et les données sur d'utilisation de l'enquête OD

- En comparant les capacités de l'outil développé avec les données de réglementation. Les capacités théoriques dérivées de l'enquête O-D correspondent à un nombre de véhicules qui se sont stationnés durant la journée. L'hypothèse peut être faite que la capacité de stationnement correspond au moins au nombre de personnes qui se sont stationné. Il est ensuite possible de comparer cette capacité théorique avec la capacité déterminée par l'outil développé avec les données de réglementation. La Figure 111 montre cette comparaison. Le ratio entre la capacité déterminée par l'outil et la capacité théorique dérivée de l'enquête O-D pour le stationnement sur rue gratuit varie entre 0,20 et 0,52. Ces valeurs sont cohérentes avec la valeur moyenne de 0,4 déterminée dans un travail précédent sur un secteur de l'arrondissement du Plateau-Mont-Royal (Diallo, 2012). Une partie de la différence entre les capacités réelles et les capacités théoriques peut être expliqué par les véhicules immobiles. En supposant que les véhicules immobiles sont répartis de manière proportionnelle sur tous les types de stationnement, les ratios devraient être majorés d'environ 45 %.

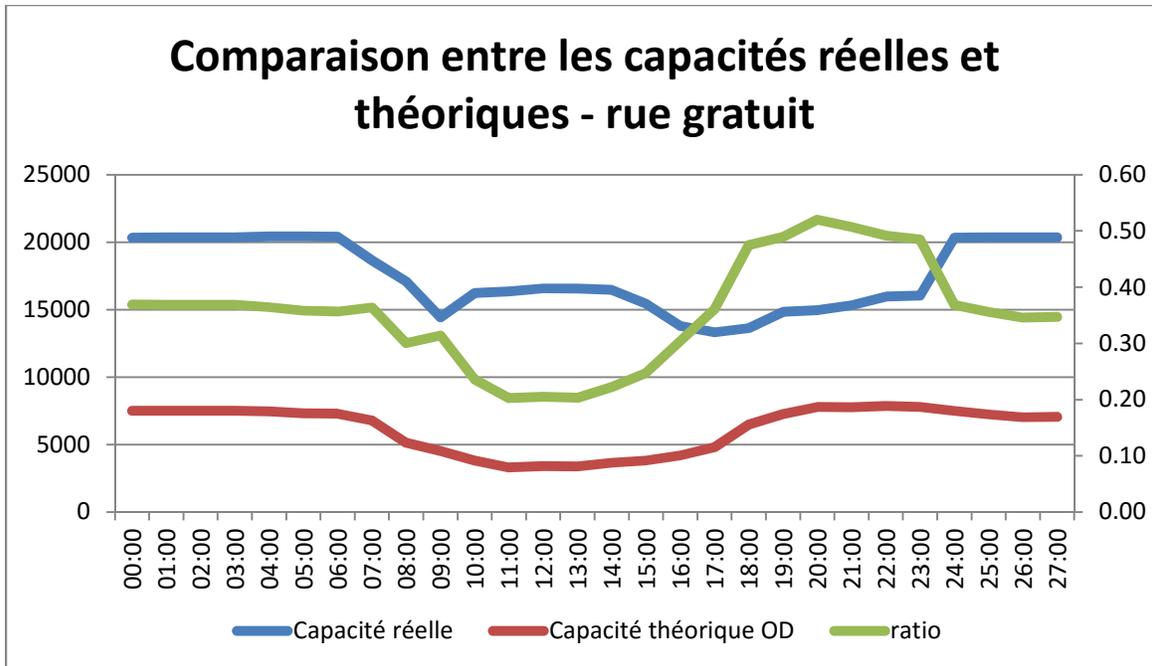


Figure 111 : Comparaison entre les capacités réelles et théoriques - stationnement sur rue gratuit

- En créant des indicateurs sur l'accessibilité aux différents types d'espaces de stationnement rue pour les ménages de l'enquête OD. La méthode qui a été utilisée ici consiste à créer, pour chaque ménage de l'enquête OD, une zone tampon de type réseau de 400 mètres à l'entour du lieu de domicile du ménage. Par la suite, le nombre d'espaces de stationnement qui sont situés à l'intérieur de la zone tampon est calculé, pour chaque heure de la journée et chaque jour de la semaine, ce qui constitue l'indicateur d'accès au stationnement. La Figure 112 et la Figure 113 montrent des boîtes à moustaches du nombre d'espaces de stationnement sur rue (gratuit et réservé aux résidents) du nombre moyen d'espaces de stationnement à moins de 400 mètres des lieux de domicile. Ces distributions montrent la variabilité qui existe, d'une part, entre les périodes de la journée, et d'autre part, entre les différents ménages.

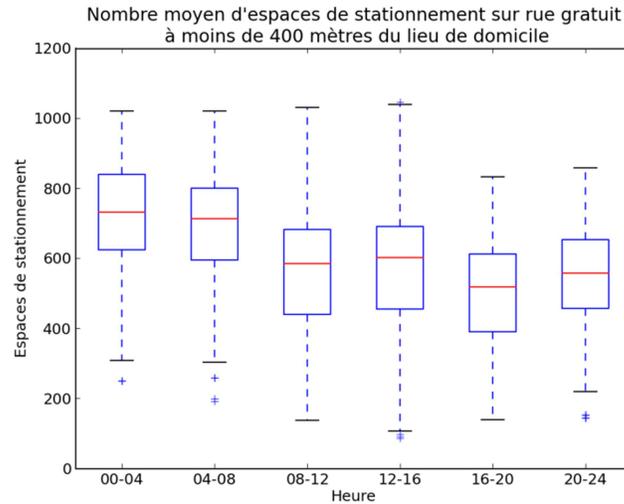


Figure 112 : Nombre moyen d'espaces de stationnement sur rue gratuit à moins de 400 mètres du lieu de domicile

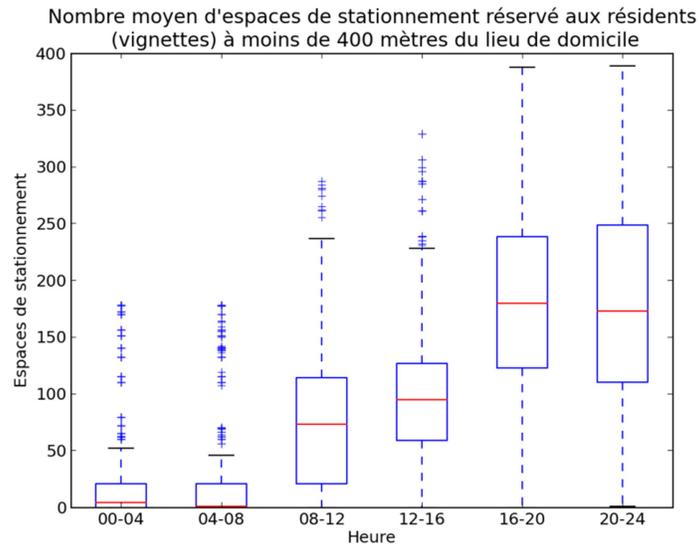


Figure 113 : Nombre moyen d'espaces de stationnement réservé aux résidents à moins de 400 mètres du lieu de domicile

3.6.7 Études de cas

L'outil de capacité qui a été développé permet d'évaluer l'impact de différents scénarios sur la capacité de stationnement d'un territoire donné. L'outil peut ainsi devenir un outil d'aide à la décision pour les autorités dans leur gestion de l'espace public que constitue la voirie. Les études de cas présentées ici ne sont que quelques exemples de la potentialité d'analyse que l'outil de capacité de stationnement procure. En pratique, de nouvelles études de cas pourront être faites dans le futur, lorsque nécessaire.

Un exemple de scénario serait l'application de l'interdiction de stationnement à moins de 5 mètres d'un rayon d'intersection, tel que spécifié dans le code de la sécurité routière. Une telle mesure entraînerait, pour le territoire de l'arrondissement du Plateau Mont-

Royal, une diminution d'environ 2100 places de stationnement, le lundi à 12 :00, tel que montré à la Figure 114. La réduction de capacité de stationnement est principalement effectuée envers les espaces qui sont permis pour tous (88 %).

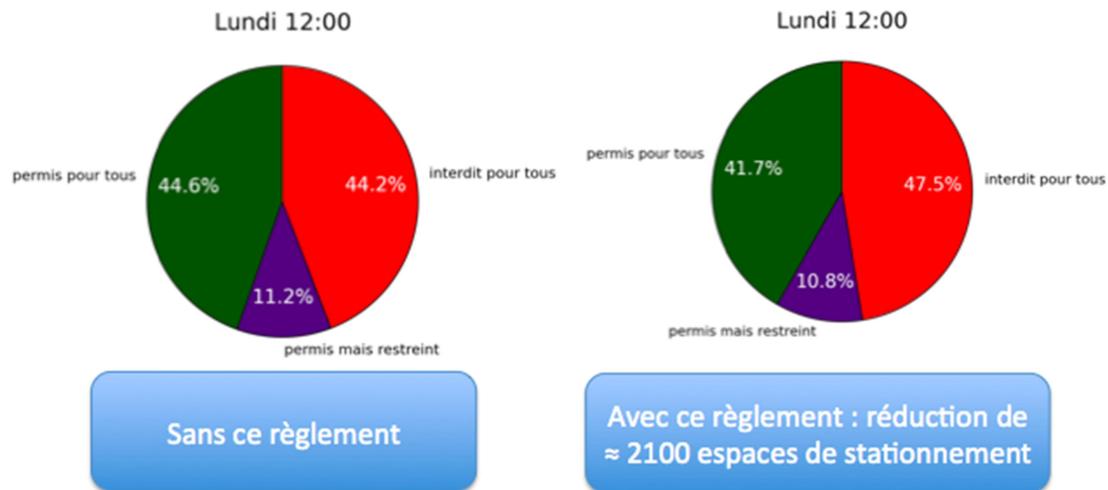


Figure 114 : Étude de cas : impact de l'application d'interdiction de stationnement à moins de 5 mètres d'un rayon d'intersection

Un autre exemple de scénario serait de déterminer l'impact d'une modification de la composition du parc automobile sur la capacité. En effet, de plus en plus de petites voitures font leur apparition sur les routes du Québec. Ainsi, un scénario qui a été étudié est le suivant : de combien la capacité de stationnement sur rue serait augmentée si 25 % du parc automobile était composé de voitures compactes, par exemple des Smart Fortwo, avec une longueur intervéhiculaire de 4 mètres ?

En utilisant l'outil de capacités de stationnement sur rue, il a été possible de déterminer que la modification du parc automobile engendrerait une augmentation de la capacité de stationnement sur rue gratuit de 15 % à 17 %, selon l'heure et la journée de la semaine. Ainsi, une simple modification du parc automobile engendrerait une modification majeure des capacités de stationnement, ce qui pourrait avoir une influence non négligeable sur le choix modal des personnes.

3.6.8 Perspectives

Dans ce projet de recherche, des outils de détermination de la capacité de stationnement ont été développés à l'aide des données de réglementation de la ville de Montréal. Des profils d'accumulation de véhicule ont été produits avec les données de l'enquête Origine-Destination. Un système d'information a permis d'intégrer les capacités et les estimés d'utilisation des stationnements.

Le principal défi dans l'étude des stationnements réside dans la multitude de types de stationnements, ce qui se traduit par plusieurs types de données à acquérir et à traiter. La valorisation de bases de données existantes et l'automatisation des procédures sont cruciales, puisque la collecte et le traitement de données s'avèrent longs et coûteux. Ce projet ouvre la porte à de nombreuses perspectives de recherche, notamment :

- Le développement d'outils de capacités de stationnement hors-rue, par exemple à l'aide d'images aériennes ou de données foncières.
- L'intégration des différents types de stationnement dans un système d'information géographique interactif, avec une interface graphique permettant de modifier différents paramètres d'analyse.
- Des études de cas plus poussées sur certains types de scénarios, ou sur certains types de générateurs de déplacements qui présentent une problématique particulière de stationnement.

3.7 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 : recherche en cours
- Financement : Chaire Mobilité

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

3.7.1 Introduction

Description du phénomène étudié et son contexte

Les déplacements urbains sont un des enjeux de la mobilité durable. En effet, en plus d’être un élément essentiel du développement économique d’une ville, ils peuvent avoir une plus ou moins forte empreinte sur l’environnement suivant le mode emprunté, et ont des répercussions multiples au niveau social et sociétal. Ainsi, tous les plans de transport des villes visent à l’heure actuelle la diminution de la part de ces déplacements effectués en automobile, pour permettre d’assurer la durabilité en transport.

Cependant, l’objectif visant à augmenter la part modale des transports en commun et actifs n’est pas une tâche aisée, et le comportement des usagers est généralement versatile quand il est question de mode de transport. Une étude menée par des chercheurs de l’Université de Berkeley en Californie en 2013, auprès des utilisateurs du service de transport en commun de la ville de San Francisco, a analysé leurs comportements face à un manque de fiabilité dans le service. Les résultats montrent que les utilisateurs des transports publics ont tendance à changer de modes ou de routes, et non à annuler leur déplacement, si leur mode habituel n’est pas fiable (Carrel A., 2013). Pour maintenir voir augmenter la part modale du TC, il est donc indispensable d’offrir des alternatives de déplacement efficaces aux usagers.

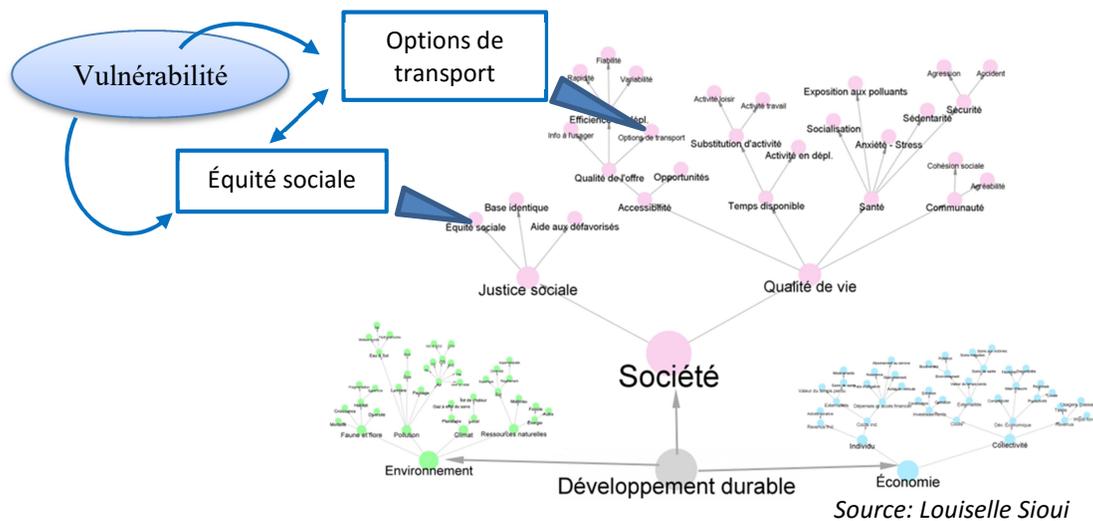


Figure 115 : Place de la vulnérabilité dans le développement durable

Alors que les composantes Économie et Environnement du développement durable sont souvent riches en indicateurs, il en existe beaucoup moins (ou restent qualitatifs) sur le volet « Société ». Pourtant, la situation d'un individu face à ses alternatives de déplacements est justement une préoccupation qui concerne à la fois la « Justice sociale » et la « Qualité de vie ». Il est donc nécessaire de développer des indicateurs quantitatifs pour répondre aux objectifs de mobilité durable, notamment au niveau de l'équité dans la diversité et la qualité des options de transport.

Revue de littérature

En se référant au point de vue des réseaux de transport, la mobilité est définie comme la capacité d'un réseau à assurer l'accès aux différents points d'activité (travail, loisir, école ...), et permet ainsi de mesurer la possibilité des individus à rejoindre leur destination avec un bon niveau de service (Kaparias L., 2011). Des auteurs se sont intéressés à ce point de vue pour établir des indicateurs de mobilité, en prenant notamment en compte le temps de voyage mesuré, comparé au temps de voyage moyen en temps normal (Zhang L., 2009).

De plus, pour approcher le concept d'accessibilité, certains auteurs le définissent comme les opportunités d'interaction (Hansen W.G., 1959). La qualité et les caractéristiques de l'aménagement du territoire sont également un aspect important à prendre en compte lorsqu'on parle d'accessibilité (Straatemeier T., 2008). Des travaux ont déjà été menés pour déterminer, sur le territoire de l'île de Montréal, le nombre et l'intensité des options de transport offertes autour des lieux de résidence (Sioui L.). Cependant, cette notion ne prend pas en compte le trajet au complet mais juste l'accès au service.

En outre, la fiabilité apparaît comme un critère essentiel dans l'évaluation des individus utilisant le transport en commun. Lorsque l'on étudie le comportement des usagers, on s'aperçoit que l'irrégularité du service a un impact encore plus important que le temps de trajet en lui-même (Perk V., 2008). D'autres (Turnquist M., 1980) suggèrent que la fiabilité peut se définir comme suit : « the ability of the transit system to adhere to

schedule or maintain regular headways and a consistent travel time. ». En somme, elle peut être définie comme la variabilité dans la performance du service. A ce titre, une étude a montré que les passagers perçoivent un manque de fiabilité de façon très négative, en particulier lorsque ces derniers doivent effectuer une correspondance (Carrel A., 2013). Cela pourrait les amener à changer de mode, vers un autre plus flexible comme l'auto par exemple, ce qui serait contraire à tous les plans de transport qui visent à réduire l'utilisation de cette dernière.

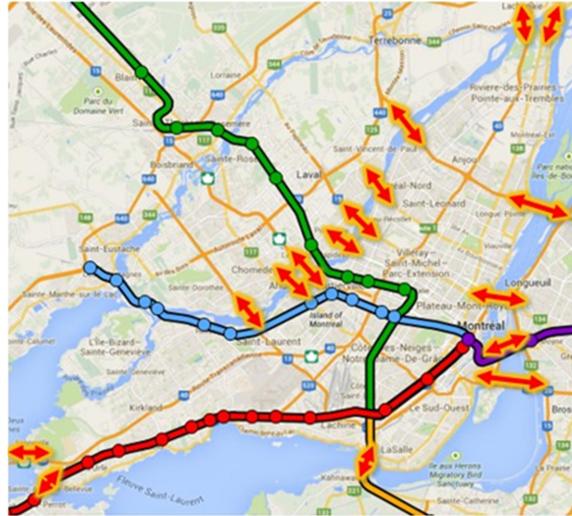
Des auteurs (Taylor M.A.P., 2007) montrent clairement la différence entre fiabilité et vulnérabilité. Alors que la fiabilité est directement reliée à la connectivité du réseau, la vulnérabilité est associée aux conséquences d'un problème entraînant une interruption du service. Certains (Nagurney A., 2009) exposent en outre le fait qu'il n'y a pas réellement un moyen de réduire la vulnérabilité du réseau, dont les causes sont principalement dues au hasard ou à des circonstances non maîtrisables. La seule façon de traiter le problème est d'étudier l'impact des arrêts de service, en matière de temps de trajet notamment, sur les déplacements effectués sur le réseau, et de proposer des alternatives efficaces.

Objectif général

Nous avons précédemment vu que la vulnérabilité des réseaux de transport a été souvent étudiée du point de vue des exploitants. Du point de vue utilisateur, elle peut être perçue comme une situation de faiblesse ressentie face à un problème rencontré lors du déplacement sur le réseau.

L'objectif général de ce projet de recherche consiste ainsi dans le développement d'un outil d'évaluation pertinent permettant de prendre en compte non pas l'accès au transport mais les options offertes pour un déplacement spécifique (OD), à une heure et lors d'une journée données.

Il permettra également d'établir un niveau de vulnérabilité pour un déplacement, en considérant tout l'éventail des possibilités offertes et les caractéristiques de l'individu, et selon des hypothèses de flexibilité diverses.



*Et si le pont que je prends est fermé ?
Et si mon train ne passe pas ?*

Figure 116 : Illustration de l'enjeu

3.7.2 Méthodologie générale

Activités

Le développement de l'indicateur s'effectuera en plusieurs approches. Tout d'abord, nous considérons une approche réseau plus théorique, car elle ne tiendra pas compte de la demande réelle observée. Pour établir ce diagnostic, il est nécessaire de définir des contraintes territoriales et/ou individuelles à étudier. A partir de ce choix, il est possible de réaliser un échantillon fictif de paires OD, à partir desquelles deux autres nouvelles alternatives s'offrent alors. Soit nous prenons en compte seulement un mode, pour établir un diagnostic TC par exemple, soit nous considérons plusieurs modes à la fois. Vient ensuite l'étape de sélection de la plage horaire à étudier, comme la pointe du matin. Si nous considérons la destination du déplacement fixe, il est dans ce cas possible de calculer une vulnérabilité horaire via les données GTFS. Dans le cas contraire, nous pouvons modifier les destinations possibles suivant le motif de déplacement par exemple, et assouplir ainsi les contraintes fixées. Les nouvelles possibilités offertes viendront alors modifier la vulnérabilité calculée. La démarche multimode est identique, à la différence qu'un calculateur de chemin, développé par la Chaire Mobilité, sera nécessaire pour calculer les trajets incluant le vélo par exemple.

Une approche plus appliquée est aussi possible, où les trajets ne sont plus créés mais observés. En effet, à partir des données de l'Enquête OD 2008, nous sommes capables d'extraire une multitude de paires OD, qui possèdent divers caractéristiques spatio-temporelles, mais aussi de mode ou de motif. Le calcul de vulnérabilité doit d'abord prendre en compte les approches et contraintes choisies, comme dans la méthodologie de l'approche réseau. Une fois ces critères fixés, il est possible de calculer la vulnérabilité réelle de la demande.

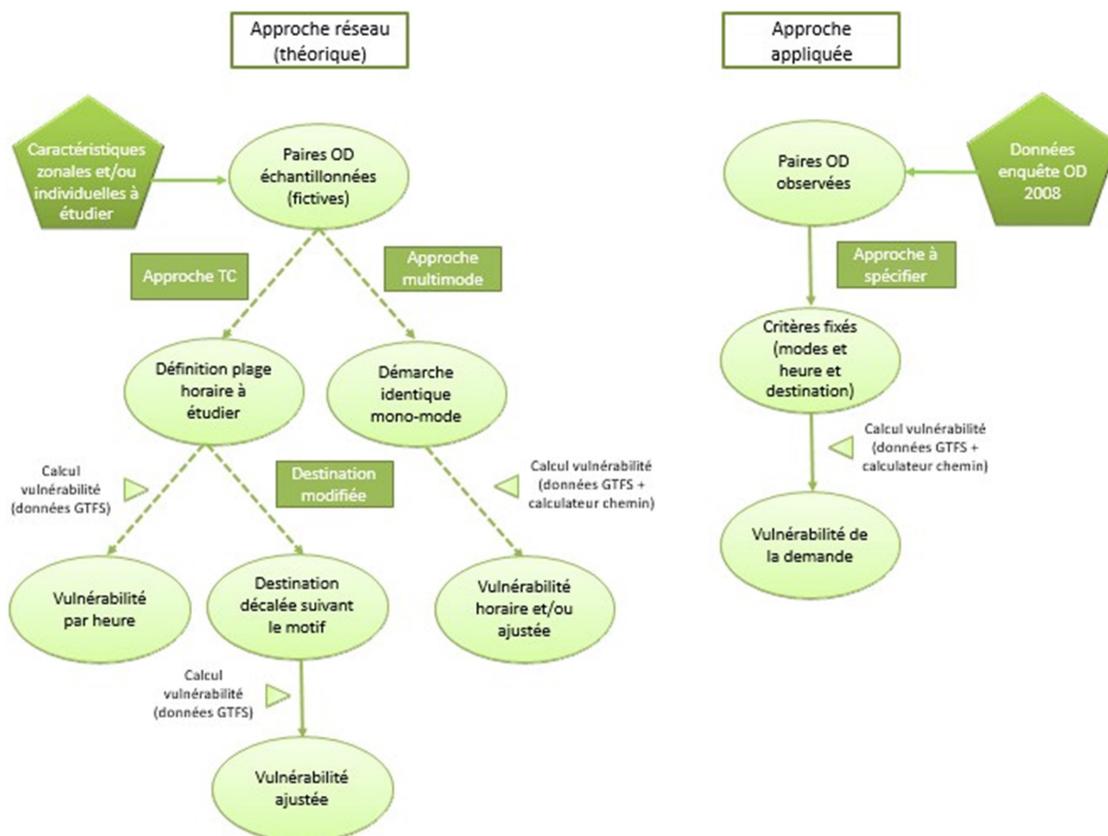


Figure 117 : Schéma des activités

Il est à noter que les deux approches rendent possibles une application plus territorialisée et individualisée de l’outil. En effet, dans les deux cas, nous pouvons échantillonner fictivement ou sélectionner dans l’enquête OD qu’une partie des trajets effectués à partir d’un certain arrondissement de Montréal par exemple. Cet échantillonnage/sélection peut aussi prendre en compte les caractéristiques des individus, afin de ne considérer que les trajets réellement possibles. En effet, l’âge de la personne qui effectue le trajet, sa motorisation ou les revenus du ménage vont permettre de ne sélectionner que certaines options de déplacement.

Calcul de vulnérabilité

Concernant la méthodologie de calcul de vulnérabilité envisagée, la première étape consiste à déterminer, pour un trajet donné, toutes les options offertes. Ces alternatives dépendent des modes sélectionnés et de la plage horaire désirée. Pour cela, les données de transport en commun GTFS et le calculateur de chemin développé par la chaire (pour les modes auto, vélo et piéton) sont nécessaires. Ces différentes options possèdent des caractéristiques propres telles le temps, la distance ou le nombre de correspondances. Une fois répertoriés, il faut ensuite analyser leur qualité, via un calcul de coût généralisé prenant en compte ces caractéristiques. A noter que des ajustements à ce niveau peuvent être envisagés, notamment pour prendre en compte par exemple le niveau de sécurité qu’offre chacune des alternatives sélectionnées. Puis, il est possible de les classer de la plus favorable à la plus défavorable, en mesurant l’écart de coût entre chacune. Par le

nombre d'options à disposition ainsi que par les écarts relatifs de coût généralisé, il est alors possible de calculer un niveau de vulnérabilité pour ce trajet. L'étape finale consiste en une analyse a posteriori de ce score, afin de valider sa pertinence au niveau de la vulnérabilité perçue par l'individu.

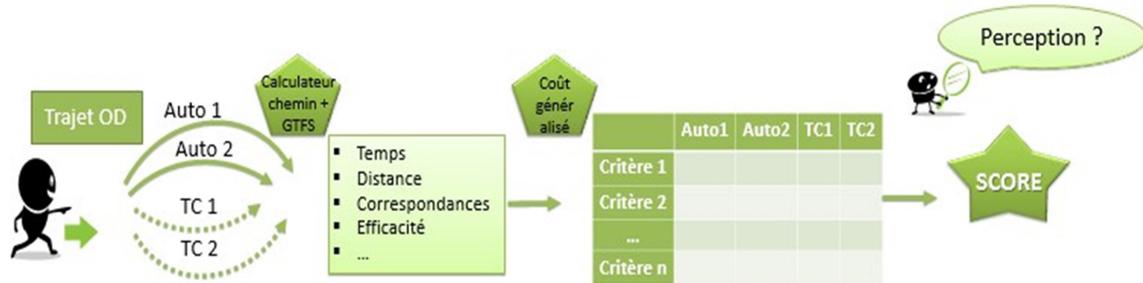


Figure 118 : Calcul de vulnérabilité envisagé

3.7.3 Échéancier du projet

Tableau 22 : Échéancier détaillé des activités de recherche

	2014			2015		
	H	É	A	H	É	A
Exigences académiques						
Suivi des cours de maîtrise (Poly)						
Cours urbanisme hors-programme						
Activités						
1- Revue de littérature						
2- Approche réseau						
3- Approche pratique						
4- Étude de cas						
5- Validation de l'indicateur						
Biens livrables						
Écriture du mémoire de maîtrise						
Écriture d'un article scientifique						
Présentation à une conférence						

3.8 Mobilité des travailleurs et scénarios de gestion de la demande de déplacements en automobile

- Étudiant : Oussama Saoudi Hassani (maîtrise)
- Supervision : Morency
- État : fin prévue août 2015
- Financement : Chaire Mobilité

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

3.8.1 Problématique de recherche

La plupart des travailleurs voyagent au même moment de la journée, ce qui se traduit par une concentration spatio-temporelle des déplacements des travailleurs et entraîne l'apparition d'heures de pointes au matin et au soir qui s'accompagnent de congestion des routes et des transports en communs. L'infrastructure des villes n'est malheureusement pas conçue pour répondre à cette forte demande.

Ce phénomène entraîne chez les automobilistes une perte de temps, une perte des notions de conduite sécuritaires, des excès de vitesse et donc une augmentation de risques d'accidents, mais aussi, de la colère, du stress, de la frustration et de la fatigue, ce qui favorise la détérioration des capacités intellectuelles et physiques de la plupart des travailleurs et donc leur inefficacité au travail mais aussi un ralentissement du développement économique et une détérioration de la qualité de vie et de l'environnement.

3.8.2 Objectif du projet de recherche

L'objectif ici est de tester et d'évaluer l'efficacité de certains scénarios pouvant entraîner une baisse de la demande aux heures de pointes tels que la mutualisation complète des voitures, l'augmentation du taux d'occupation des véhicules, le transfert modal, l'optimisation des liens domicile-lieu de travail, l'agencement des heures de travail et enfin les bureaux satellites périphériques.

La méthodologie générale s'articulera en 4 grands axes :

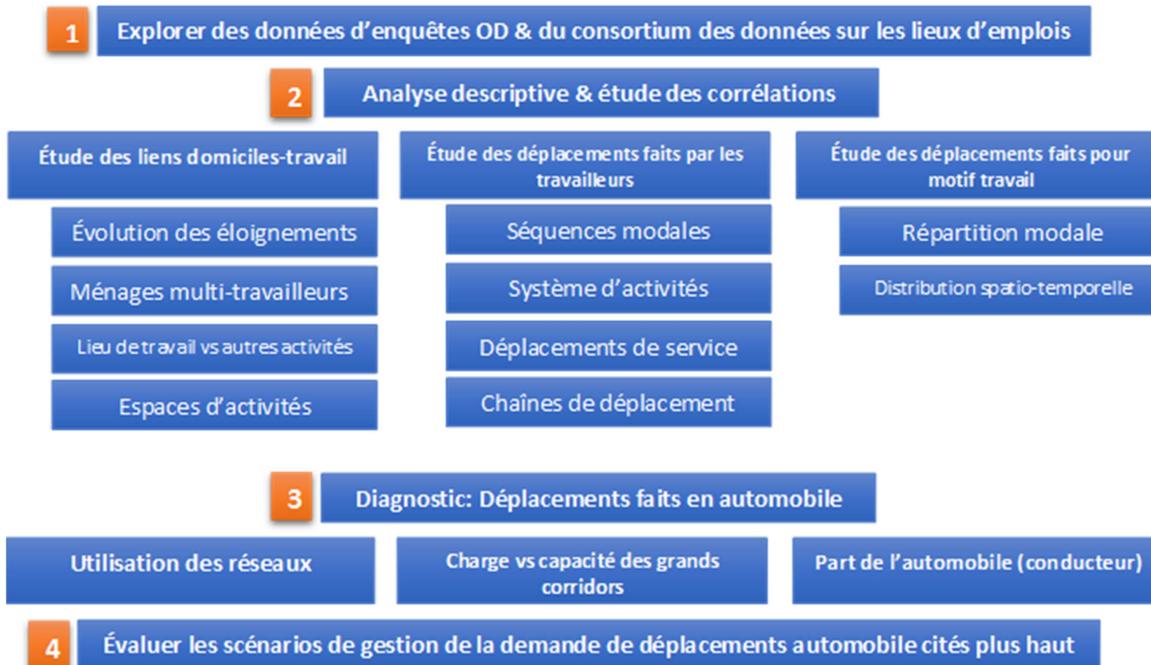


Figure 119 : Méthodologie générale

3.8.3 Mobilité des travailleurs en chiffres

Une *enquête nationale* réalisée au Canada auprès des ménages en 2011 (ENM) permet de relever quelques chiffres de mobilité concernant la ville de Montréal.

En ce qui concerne les **temps de déplacement**, on a demandé dans le cadre de cette enquête aux navetteurs d'indiquer combien de temps durait habituellement leur navette de la maison au travail.

Le temps moyen de déplacement Maison-travail enregistré à Montréal a été de **29,7 minutes**.

Ces durées moyennes de déplacement ne reflètent pas l'expérience de tous les navetteurs, certains passent parfois considérablement plus de temps en déplacement. Par ailleurs, les navetteurs qui se déplaçaient en transport en commun prenaient en moyenne plus de temps que ceux utilisant l'automobile pour se rendre au travail.

Les données sur *le lieu de travail* sont elles aussi d'une grande utilité pour la planification urbaine, puisqu'elles permettent de déterminer les secteurs où les emplois sont concentrés dans une région. Lorsque les renseignements sur le lieu de travail sont combinés avec les données relatives au lieu de résidence des travailleurs, on peut déterminer pour quels trajets spécifiques il existe des besoins en matière d'infrastructures de transport. À cet égard, les flux de navettage entre municipalités, soit le nombre de personnes qui se déplacent d'une municipalité à une autre, permettent de déceler certaines tendances dans les types de déplacements des navetteurs.

Dans plusieurs municipalités périphériques, une minorité des navetteurs se déplacent vers la municipalité centrale pour y travailler. La majorité des travailleurs de la municipalité centrale se déplaçaient à l'intérieur de cette municipalité. Par exemple, dans la région métropolitaine de Montréal, une minorité des navetteurs qui résidaient à Laval (46,1 %)

et de ceux qui résidaient à Longueuil (36,6 %) se rendaient dans la municipalité de Montréal pour y travailler.

Les personnes qui se dirigent vers les secteurs de recensement centraux sont plus susceptibles d'utiliser le transport en commun, de marcher ou d'utiliser la bicyclette pour s'y rendre.

Ces différentes statistiques sont tirées de Statistiques Canada (Enquête Nationale auprès des ménages).

3.8.4 Revue de littérature

L'« excess commuting »

L'« **excess commuting** » représente la différence entre le navettage domicile-travail moyen réel observé et le navettage domicile-travail moyen le plus court possible calculé par des modèles de théories économiques urbaines.

Les théories économiques urbaines sont fondées sur l'hypothèse que les travailleurs choisissent leurs résidences en considérant deux paramètres : La minimisation de la longueur de leurs déplacements domicile-travail et le coût des logements.

Tel que cité par Seyoung (1993), les études les plus pertinentes sur l'*excess commuting* ont été réalisées par Hamilton (1982, 1989), White (1988), Cropper et Gordon (1991), Small et Song's (1992), et Giuliano et Small (1993). Toutes les informations sur ces études anciennes ont été tirées de Seyoung (1993). L'étude de Small et Song's (1992) a permis d'apporter des résultats empiriques plus fiables que les précédentes et de confirmer la conclusion de l'étude de Hamilton (1982) concernant son modèle monocentrique, qui attribue aux travailleurs leur lieu de résidence afin de réduire les coûts agrégés des déplacements, qui serait réfutable au vu des données réelles des déplacements.

Navettage inutile : approche spatiale

Tel que cité par Seyoung (1993), Hamilton (1986) est le premier économiste qui a testé les modèles monocentriques d'excess commuting.

Ces modèles ont été développés par Mill (1967) et Muth (1969) (aussi extrait de Tel que cité par Seyoung, 1993). Ces modèles supposent que les logements sont valorisés par leur accessibilité au centre-ville et que les ménages vont chercher à concilier prix du logement et proximité du centre-ville pour leur choix de résidence. En effet, la rente foncière est plus élevée dans la région du centre-ville avec une densité résidentielle plus élevée aussi. Cela signifie que la densité résidentielle est liée négativement à la distance du centre-ville; de même pour la densité d'emploi. Ce qui voudrait dire, que si tous les emplois sont situés au centre-ville, il serait plus facile d'évaluer la distance de navettage (commuting) aux domiciles.

Cependant, lorsque les emplois sont décentralisés le navettage vers ces lieux d'emplois sera moindre que pour le cas d'emplois centralisés.

Pour son évaluation, il calcule la distance moyenne des domiciles au centre-ville dans le cas des emplois centralisés au centre-ville, et il calcule la distance moyenne des emplois au centre-ville dans le cas des emplois décentralisés en utilisant le gradient de densité

développé par Mill (1972) tel que cité par Seyoung (1993). Il considère que la différence entre les deux moyennes obtenues est la distance de navettage moyenne souhaitée (required commute) pour une ville monocentrique avec des emplois décentralisés.

Il définit ensuite la différence entre la moyenne souhaitée et la moyenne observée réelle comme le navettage inutile (*wasteful commuting*).

Son étude a porté sur 14 villes américaines où il a déterminé la moyenne de navettage souhaitée à 1.12 miles. Il a ensuite comparé cette valeur avec la moyenne réelle de navettage qu'il a déterminé à l'aide de l'enquête ménage annuelle (1979, 1980) et qui s'élevait à 8.7 miles. La différence de ces deux valeurs a permis de définir la moyenne de navettage inutile qui représente 87% [$100 \times (\text{Navettage réel} - \text{Navettage souhaité}) / (\text{Navettage réel})$] de la moyenne du navettage réelle observée pour ces villes. Cette grande proportion de navettage inutile a permis à Hamilton d'affirmer que le modèle monocentrique n'est pas réaliste.

Navettage inutile : approche temporelle

White affirme que l'approche d'Hamilton concernant la mesure du navettage inutile est incorrecte pour deux raisons. D'abord, Hamilton ne considère pas la distribution spatiale réelle des domiciles et des emplois, ensuite, il ne considère pas le réseau routier réel existant.

Pour White, il n'est pas défini de navettage inutile lorsqu'il y a possibilité pour les résidents d'un logement de changer leur lieu de domicile ou leur lieu de travail pour réduire leur navettage.

Pour calculer le navettage inutile, White a calculé la combinaison optimale travail-domicile en utilisant la matrice de la base de données du réseau existant et en résolvant de manière linéaire le problème avec comme paramètre la minimisation de la moyenne du temps de navettage en région métropolitaine. Elle a donc calculé la moyenne du temps de navettage pour les 14 mêmes villes qu'Hamilton, qui vaut 20 min. Elle compare ce résultat avec le temps moyen de navettage observé pour les mêmes villes qui vaut 22.5 min pour conclure qu'il n'y a que 11% de navettage inutile (Hamilton avait trouvé 87%). Elle conclue que le modèle monocentrique n'est pas si mauvais que Hamilton l'a affirmé.

Navettage inutile : modèle pertinent

Cropper et Gordon redéfinissent le navettage souhaité comme la moyenne de la distance de navettage totale minimisée soumise à la contrainte que les qualités du logement d'un ménage ne décroissent pas après réarrangement des lieux de résidence des ménages.

Cropper et Gordon ont utilisés la base de données de déplacements de Baltimore pour leurs calculs.

Ils ont utilisés deux modèles pour leur calcul de navettage souhaité (required commuting); un premier n'était qu'un simple modèle d'affectation utilisant la micro-base de données de Baltimore.

Le deuxième modèle incluait l'existence d'un deuxième travailleur dans le ménage, considérait son navettage ainsi que les contraintes liées au logement. Ils incluaient parmi ces contraintes la qualité du quartier où se trouvait le logement. De plus, ils calculaient le

navettage souhaité séparément pour les deux catégories : propriétaires de logements et locataires de logements.

Les résultats de leurs calculs ont donné les résultats suivant : Pour Baltimore, le navettage souhaité est de 5.04 miles pour les propriétaires et 4.17 miles pour les locataires avec prise en compte de la qualité des logements; tandis que sans les prendre en compte on arrive à 4.39 miles pour les propriétaires et 3.65 miles pour les locataires de logements.

Le navettage observé dans la ville de Baltimore est de 10.2 miles. Le navettage inutile maximal à Baltimore est donc de 5 miles.

En considérant un deuxième travailleur dans le ménage et des contraintes concernant la qualité du logement il a été démontré une augmentation de 15% du navettage souhaité.

Du navettage inutile à l' « excess commuting »

Small et Song ont étudié le temps de navettage souhaité (*required commute*) pour trois différents types de distributions géographiques : Cas monocentrique, Polycentrique et zonal.

Pour eux, la définition de Hamilton concernant le navettage inutile (*wasteful commuting*) n'est valable que pour le cas d'une distribution géographique zonale alors qu'il réalise ses calculs sur un cas de géographie monocentrique. De même, ils affirment que la conclusion de White concernant le modèle monocentrique est fautive vu que ses calculs ne sont valables que pour le cas d'une distribution géographique zonale et que son calcul est biaisé du fait de la base de données recouvre une zone très large. Ils renomment le navettage inutile de Hamilton (*wasteful commuting*) par le terme *Excess commuting* pour le rendre plus neutre.

Pour leur étude ils ont utilisés les deux méthodes de calcul développé par Hamilton et par White avec une base de données de Los Angeles-Long Beach. Avec la méthode d'Hamilton, ils ont pu obtenir une valeur d'*excess commuting* d'approximativement 79% et une valeur pour le navettage souhaité (*Required commute*) de 2.16miles; Avec la méthode de White, l'*excess commuting* est de 65% et le navettage souhaité est de 7.32 minutes. Ceci prouve qu'il y a une certaine différence entre la considération de données temporelles pour les calculs ou des données de distance.

Excess commuting ou mesure de déséquilibre

Giuliano et Small utilisaient l'*excess commuting* comme une mesure du déséquilibre Travail-domicile (*Imbalance*) et comme une façon d'identifier les inadéquations.

Ils considèrent qu'il y a déséquilibre lorsque la capacité résidentielle d'une zone est différente du nombre de travailleurs de cette zone. Et ils considèrent qu'il y a inadéquation lorsque les travailleurs d'une certaine zone ne peuvent pas y habiter pour différentes raisons. Ils ont calculé le navettage souhaité (*required commute*) et l'*excess commuting* en utilisant le modèle d'affectation et en utilisant la base de données de 5 comtés sud californiens (Los Angeles, Orange, San Bernadino, Ventura et Riverside). Ils ont découvert que les travailleurs du Centre du comté de Los Angeles ont un plus long navettage souhaité (*required commute*) que les autres travailleurs du comté. Pour les travailleurs au Centre, l'*excess commuting* représente 38.2% et le navettage souhaité est

de 16.3min, pour les emplois ailleurs, l'excess commuting est de 78% et le navettage souhaité est de 21.4min.

Ils expliquent aussi que le navettage (commuting) n'influe pas le choix du lieu de résidence d'un ménage vu que le ménage peut comporter plus d'un travailleur avec des lieux de travail éloignés, ce qui rend ce paramètre négligeable pour le choix du lieu de résidence. Aussi, le coût du navettage ne représente pas l'unique paramètre de choix du lieu de résidence, d'autres paramètres tels que le quartier ou le type de maison peuvent être plus important pour le choix du lieu de résidence.

Toutes ces études permettent de mieux percevoir l'*excess commuting* qui peut être simplement défini par l'équation :

$$\begin{aligned} & EXCESS COMMUTING \\ & = \frac{NAVETTAGE OBSERVÉ - NAVETTAGE SOUHAITÉ}{NAVETTAGE OBSERVÉ} \times 100 \end{aligned}$$

Agencement des heures de travail

L'agencement des heures de travail est le fait de planifier pour les travailleurs des heures de commencement et de fins de travail différents. Au lieu d'avoir un grand nombre de travailleurs qui atteignent et quittent leur lieu de travail au même moment, différents organismes et entreprises pourront adopter différentes heures de début et de fin de travail.

Néanmoins, l'agencement des heures de travail serait accepté par les travailleurs s'ils sont libres de choisir et de fixer leur horaire de début et de fin de travail parmi un certain nombre de choix qui s'offrent à eux. Cependant une fois choisi, il ne devrait plus être possible de le modifier.

Ce programme pourrait être une solution pour l'atténuation de la congestion routière et des transports en commun en heure de pointe et pourrait permettre aux travailleurs de mieux agencer leurs horaires de travail au profit de leurs activités extra-professionnels (vie familiale par exemple). Cependant, l'agencement des horaires pourrait avoir des inconvénients; le moment de présence de tous les travailleurs d'une même entreprise pendant toute la durée de la journée est réduit, des difficultés d'adaptation peuvent apparaître chez certains travailleurs dues aux nouveaux horaires mais aussi des dépenses supplémentaires pour les employeurs vu l'allongement de la journée de travail et donc de certaines dépenses tels que : l'énergie (électricité et chauffage par exemple) ou l'allongement des horaires de travail des vigiles de sécurité.

En pratique, l'agencement des heures de travail pourrait représenter une variation de 15 à 30minutes allant, par exemple, de 7h à 9h du matin et de 16h à 18h de l'après-midi. L'arrivée et le départ des employés d'une certaine entreprise sera donc différé en vagues, par exemple un certain nombre d'employés arriveront à 7h30 et partiront à 15h tandis qu'une deuxième vague sera de 10h30 à 18h. Une période de 4h30 par jour de 10h30 à 15h sera la période de présence de tous les employés de la société; Ceci sera intéressant dans le cas où l'activité de cette dernière demande la présence de tous ses employés à un certain moment de la journée qui représente un pic de la demande par exemple.

Exemple réel : Ville de Singapour

Un exemple concret d'agencement des horaires de travail est la ville de Singapour, où la congestion routière a longtemps été la cause de longs navettage domicile-travail aux heures de pointes. Depuis 1985, par exemple, l'hôpital national universitaire a offert à ses employés le choix de venir au travail à 8h00, 8h30 ou 9h00 du matin, ceci a permis d'offrir aux clients deux heures supplémentaires de service puisque l'hôpital a pu ouvrir ses portes de 8h00 à 18h00 grâce à cette mesure, contrairement de 9h00 à 17h00 avant.

Singapore avait depuis 1975 des problèmes de congestion, trouver une solution pour alléger le trafic routier a été l'une des principales préoccupations du gouvernement.

Le télétravail

Le **télétravail** est une façon d'exercer un travail en dehors des locaux de son employeur ou de son client grâce aux technologies de l'information et de la communication (Internet, téléphonie mobile, fax, etc.). Le télétravail peut s'effectuer depuis le domicile, un télécentre ou de manière nomade (lieux de travail différents selon l'activité à réaliser).

Le télétravail représente un scénario intéressant qui pourrait soulager la congestion routière d'une certaine région. En effet, de nombreux types de télétravail peuvent être envisagés : Télétravail à domicile, télétravail en centres régionaux, centres satellites, centres locaux ou encore centres de quartiers.

À domicile

Dans ce cas, l'employé travaille à la maison, reste en contact avec son bureau principal par téléphone ou par d'autres technologies de télécommunications. Cela peut être un travail à temps partiel (1-3 jours par semaine) ou à temps plein.

De plus, travailler à la maison peut donner aux employés une extrême flexibilité horaire et de style de vie : Permettre aux parents d'éviter les frais liés au transport et à la garde de leurs enfants ; Il offre également des possibilités d'emploi pour les personnes âgées et les handicapés.

Centres régionaux

Une importante variante du télétravail consiste à ne pas travailler à la maison, mais plutôt à proximité de chez soi dans un centre de télétravail spécialement conçu et équipé.

Cette approche est particulièrement intéressante pour les travailleurs qui font de longs trajets pour rejoindre leur lieu de travail. Certes, ces centres de télétravail n'éliminent pas le déplacement mais le réduisent considérablement. Ils peuvent être situés dans des zones non congestionnées.

Les centres régionaux peuvent se distinguer en trois types de centres: Centres satellites, centres locaux et centres de quartier. Le point commun de ces trois types de centres régionaux étant la proximité au lieu d'habitation des télétravailleurs.

Centres satellites

Il s'agit de locaux établis par une entreprise ou une organisation au profit de son personnel de télétravail. Il faut noter que ce type d'implantation ne permet pas d'éviter

les déplacements des télétravailleurs qui auront à parcourir différentes distances, la plupart étant des distances d'une dizaine de miles.

Centres locaux

Les centres locaux sont les centres qui hébergent un certain nombre de télétravailleurs qui proviennent de diverses entreprises et organisations. Ils se partagent l'espace de travail et les équipements du centre le plus proche de chez eux. Le centre devra être financé par toutes les organisations dont les télétravailleurs utilisent l'espace.

Centres de quartiers

Il s'agit de mini-centres qui comportent tous les équipements nécessaires aux télétravailleurs, qui existent en grand nombre et qui permettent à beaucoup de télétravailleurs de s'y rendre à pied.

Emplois avec potentiel de conversion en télétravail

Les métiers que l'on peut convertir en télétravail à temps plein sont des métiers de type informations, ventes et marketing. Pour la catégorie de métiers d'information il s'agit des métiers qui se limitent à de la lecture, à de la rédaction, à du service à la clientèle téléphonique ou par internet ou encore à de la recherche (recherche littéraire, traitement et analyse de bases de données), mais aussi des métiers de vente par correspondance ou à du télémarketing.

Une liste de quelques métiers à fort potentiel de télétravail est citée ci-dessous :

Comptable – Actuaire – Adjoint administratif – Analyste – Architecte – Artiste-Auditeur-Banquiers – Courtier – Chef de la direction – Secrétaire/dactylo – Consultant – Moniteur de contrat – Informaticien – Rédacteur de données – Spécialiste de la recherche de données – Économiste – Enquêteur – Analyste financier – Graphiste – Journaliste – Avocat – Analyste de marché – Programmeur – Acheteur – Réceptionniste (envoi/réception de courrier électronique) – Agent immobilier – Ingénieur logiciel – Statisticien – Analyste boursier – Agent de change – Arpenteur – Analyste de systèmes – Télévendeur – Téléphoniste – Écrivain

Pour que les personnes qui pratiquent l'un des emplois cités ci-dessus acceptent le télétravail, il faudrait qu'ils jouissent de certaines particularités nécessaires à leur réussite professionnelle, à savoir une certaine auto-motivation, une autodiscipline, des compétences de concentration et surtout une capacité à travailler de manière autonome.

Le télétravail peut donc avoir de nombreux points positifs tels que :

- Une diminution du trafic en heure de pointe et de consommation énergétique
- Une réduction des dépenses pour la maintenance ou l'amélioration des infrastructures urbaines
- Une possible atténuation de l'étalement urbain
- Une diminution de la pollution urbaine
- Une réduction du nombre d'accidents routiers
- Une amélioration de l'usage des modes alternatifs (marche, vélo,...)

Néanmoins, il n'est pas sûr que ces avantages puissent être réalisés et l'on ne connaît pas l'impact réel d'un passage de certains métiers au télétravail, une étude scientifique et détaillée doit être réalisée pour mesurer les impacts de telles mesures.

Le covoiturage

Le **covoiturage** est l'utilisation conjointe et organisée d'un véhicule, par un conducteur non professionnel et un ou plusieurs tiers passagers, dans le but d'effectuer un trajet commun.

Avantages

- Économie pour les covoiturés des dépenses de carburant et de maintenance
- Agrémenter les voyages
- Développer le lien social
- Augmenter le taux de remplissage des véhicules
- Réduire la congestion routière
- Réduire les accidents de la route

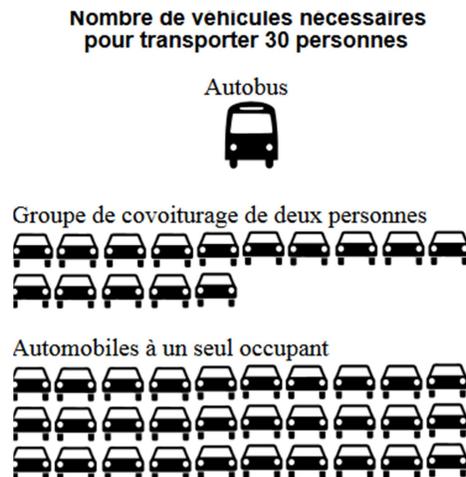


Figure 120 : Nombre de véhicules nécessaires pour transporter 30 personnes

Covoiturage Domicile-Travail

« Ce covoiturage se fait souvent avec des gens de la même entreprise, université ou des voisins. Cette pratique est la plus répandue des trajets de covoiturage, elle a surtout lieu dans les grandes entreprises de plus de 300 personnes et les administrations.

En général, covoiturer entraîne toujours une perte de temps pour le conducteur, car il n'existe toujours pas de voies réservées au covoiturage (VOM).

Les freins à ce genre de covoiturage sont souvent :

- L'attente du passager au départ du trajet ;
- Le détour pour aller chercher ou déposer le passager ;
- La coordination des emplois du temps ;

- Le passager court le risque d'être : oublié, ou de ne pas être transporté suite à un empêchement du conducteur. Il doit donc toujours prévoir une solution de secours : transports en commun ou autre (dépenses supplémentaires).

Cette pratique reste toutefois difficile pour les personnes n'ayant pas des horaires fixes telles que les cadres.

Portrait du covoiturage à Montréal

Une étude intéressante de *Sioui (2007)* visait à caractériser les services offrant le jumelage de partenaires de covoiturage collectif et à dresser le portrait des utilisateurs de ce mode de transport à Montréal.

D'une part, les résultats de son étude ont pu aboutir après l'analyse des systèmes de covoiturage collectif de la Grande Région de Montréal offerts sur Internet que la majorité des systèmes de jumelage urbains et montréalais sont gratuits et trouvent des partenaires de voyage par origine et destination et ne visent que les étudiants et les travailleurs.

D'autre part, les déplacements provenant de l'enquête Origine-Destination montréalaise de 2003 dont les passagers d'une automobile ont voyagé avec un voisin, un confrère de travail ou autre ont été analysés. Il s'est avéré que la moitié des passagers voyagent avec un conducteur de type « Autre ». Aussi, ce mode de transport est utilisé surtout par des francophones, par un peu plus de femmes que d'hommes, et par beaucoup de travailleurs et d'étudiants. Les motifs principaux sont substantiels (travail et étude) et discrétionnaires (loisirs). La temporalité des déplacements dépend essentiellement des motifs plutôt que du type de conducteur.

De plus, les distances parcourues sont assez courtes, étant souvent moins les 10km. Les principales caractéristiques des covoitureurs avec leur voisin comme conducteur est qu'ils sont pour la plupart jeunes et étudiants. Ceux qui voyagent avec un confrère de travail sont essentiellement des travailleurs ou des étudiants. Le motif le plus commun chez les covoitureurs avec un conducteur de type « Autre » est celui de discrétionnaire.

Finalement, une discussion a suivi sur les limites et la pertinence du covoiturage collectif parmi les modes de transport urbains. Les systèmes de covoiturage offerts à Montréal sur Internet ne sont visiblement pas au point, vue leur piètre organisation.

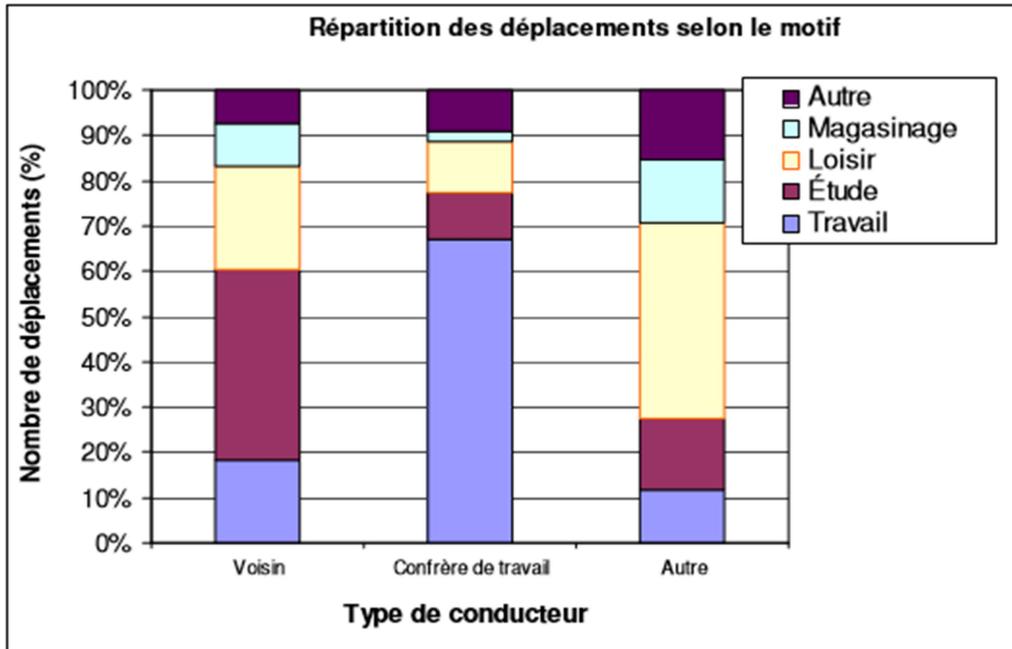


Figure 121 : Répartition des déplacements selon le motif - Source: Portrait du covoiturage à Montréal de Louiselle Sioui (2007)

3.8.5 Analyse des données de Statistiques Canada

Présentation des données

Les données étudiées ici sont celles du recensement de la population du Canada où 20 % des ménages ont rempli un questionnaire 2B, aussi appelé questionnaire complet. Ce dernier renferme des questions qui visent à recueillir des renseignements des membres du ménage sur le lieu de travail et le mode de transport utilisé pour se rendre au travail. Ces données sont traitées afin d'obtenir des tableaux origines-destinations personnalisés pour le consortium sur le lieu de travail (LDT). Les tableaux fournis concernent les catégories de lieu de travail, les modes de transports et le navettage (Commuting) des travailleurs âgés de 15 ans et plus ayant travaillé depuis le 1er janvier 2005. Tous les tableaux mis à disposition sont réalisés en deux exemplaires : Un tableau pour tous les emplois quel que soit leur lieu de travail puis un tableau qui concerne uniquement les emplois avec un lieu de travail habituel. Les variables des tableaux fournies sont la catégorie de revenu, la catégorie d'âge, le plus haut diplôme ou certificat obtenu, les langues parlées à la maison, les modes de transport, les distances moyennes de navettage, le type d'emploi et enfin deux classifications des emplois l'une selon la réglementation Nord-Américaine et la seconde selon une réglementation Canadienne.

Ensuite, sont fournies des matrices de déplacements géoréférencées qui mettent en relation le lieu de résidence (LDR) et le lieu de travail (LDT). Il s'agit d'une collection complète de tableaux doublement géoréférencés couvrant les 9 combinaisons possibles des 3 types de lieux de résidence ou de lieux de travail : municipalités (SDR), secteurs de recensement (SR) et zones de planification (ZP). Un exemple de dénomination d'un tableau est le « T22_SR_SR_LDR », ceci veut dire que la matrice concerne les déplacements réalisés d'un secteur de recensement (SR) vers un autre secteur de

recensement (SR) et que la matrice concerne le lieu de résidence (LDR); en d'autres termes, cette matrice sera utilisée pour déterminer le secteur d'habitation (SR) des travailleurs d'un certain (SR). Un autre exemple, la matrice « T22_SDR_SR_LDT », cette dernière sera utile pour déterminer les lieux de travail d'un secteur de recensement (SR) des habitants d'une certaine municipalité (SDR). Les détails des variables des matrices sont présentés en annexe.

Objectifs d'analyse

L'objectif de mon analyse est de tracer d'abord un profil général des travailleurs de Montréal âgés de 15 et plus ayant un lieu de travail habituel, en effet l'étude et la compréhension des déplacements des navetteurs empruntant le même trajet quotidiennement aux mêmes horaires est très intéressant pour évaluer les scénarios de gestion des déplacements automobiles.

Le but ici est donc d'exploiter les matrices de déplacements géoréférencées pour déterminer les principaux corridors de déplacement des travailleurs de et vers Montréal. Une première approche va consister à étudier les déplacements SR-SR, ensuite je m'intéresserai aux déplacements SDR-SDR et enfin aux déplacements ZP-ZP.

Analyse générale pour Montréal

En exploitant les tableaux de données du recensement de la population de 2006 pour Montréal, il a été possible d'obtenir un certain nombre d'informations concernant les travailleurs âgés de 15 ans et plus et ayant un lieu habituel de travail ou travaillant à la maison.

Classification des professions

Une première analyse, présentée ci-dessous, permet de catégoriser les travailleurs selon une classification des industries Nord-Américaine et selon une classification de profession Nationale Canadienne.

Il est possible de repérer les industries qui embauchent le plus de personnes à Montréal : La fabrication vient en premier lieu, suivie de près du commerce de détail et des soins de santé et assistance sociale qui à eux trois représentent près de 39% de l'ensemble des industries qui emploient à Montréal.

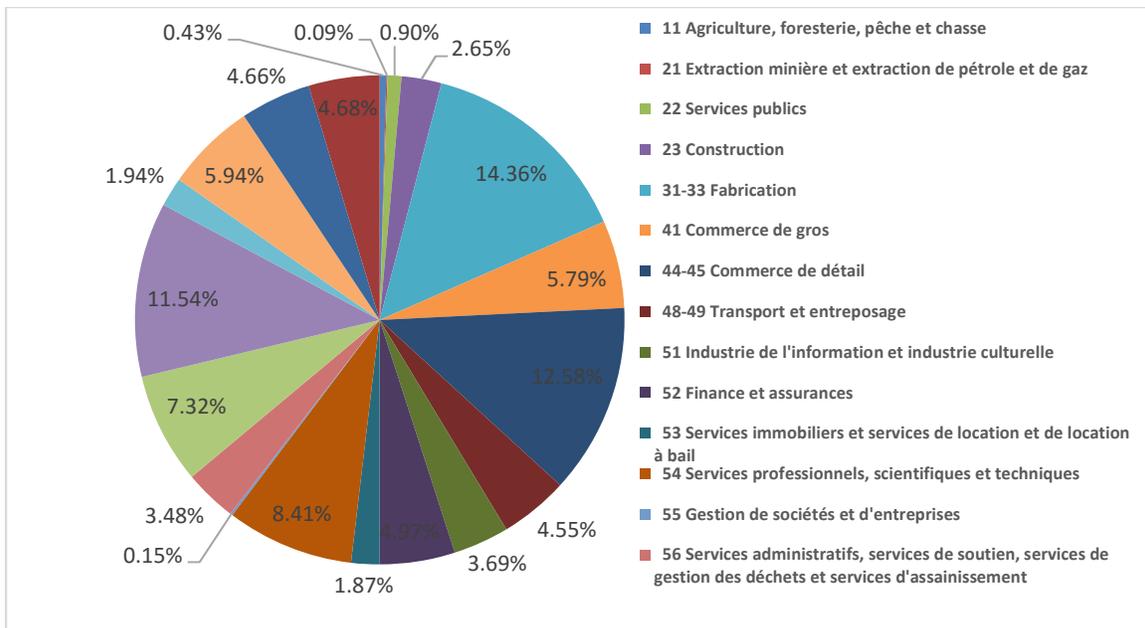


Figure 122 : Catégorie de lieu de travail, industrie - Système de classification des industries de l'Amérique du Nord de 2002 et travail pour la population active occupée de 15 ans et plus, ayant un lieu habituel de travail ou travaillant à la maison – Recensement de 2006 – Données échantillon 20%

Aussi, la classification des professions Nationale Canadienne Figure 123 permet de repérer les métiers d'affaires, finance et administration et de ventes et services comme étant les métiers les plus pratiqués à Montréal avec 32% du total des catégories de profession; les métiers de gestion représentent tout de même 11%, ce qui n'est tout de même pas négligeable.

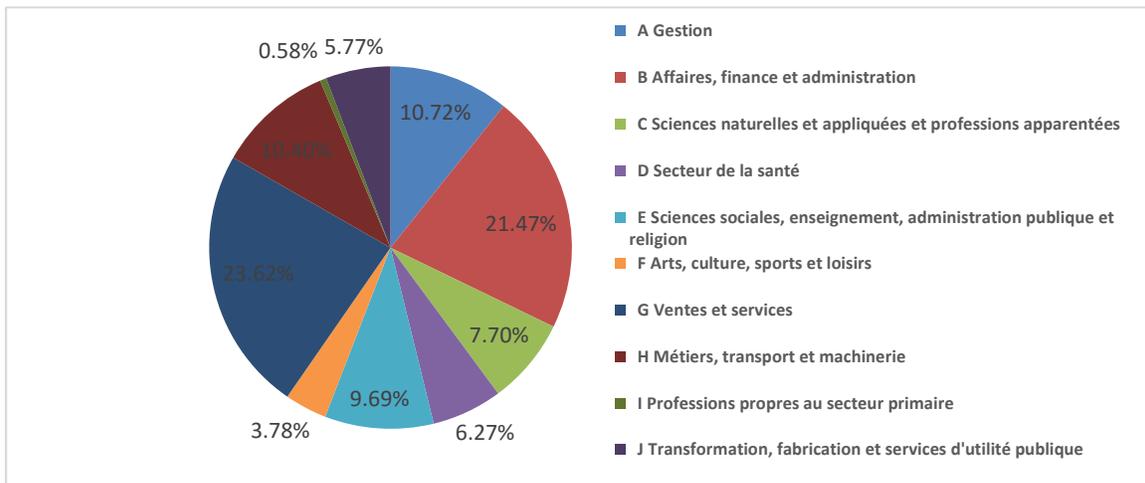


Figure 123 : Catégorie de lieu de travail et profession - Classification nationale des professions pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail ou travaillant à la maison, pour Montréal – Recensement de 2006 – Données échantillon 20%

Analyse des revenus

Les revenus sont un paramètre intéressant à étudier car il permet d'avoir une idée sur la capacité d'achat des travailleurs mais surtout sur leur capacité à adhérer à un abonnement de transport collectif et à quel prix.

L'analyse des revenus des travailleurs de Montréal permet de déterminer que leur revenu moyen annuel s'élève à 42 527 \$ pour un tarif de passage STM de 3\$, (*pour Paris, le revenu moyen annuel en 2006 était de 39 900 euros soit 59 000 \$ d'après les données de la Direction générale des impôts d'île-de-France avec un tarif pour un ticket de passage de 1.70 euros soit près de 2.50 \$*), le salaire médian des travailleurs de Montréal est quant à lui est de 33 373 \$.

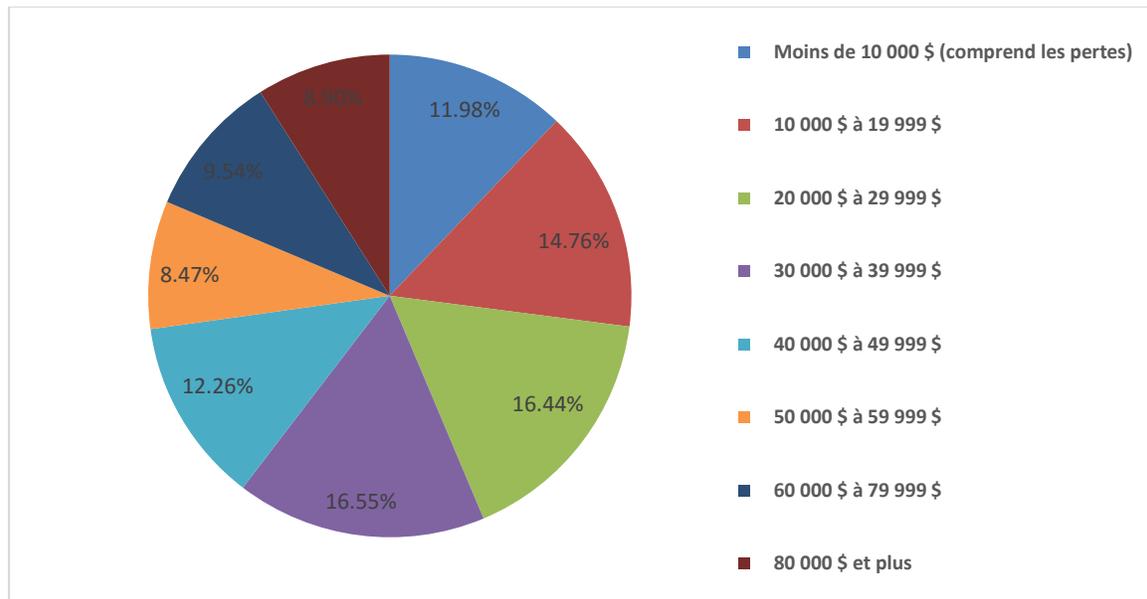


Figure 124 : Tranches de revenu pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)

Âge de la population active

L'âge de la population active est un élément important dans la planification des transports, en effet, certaines tranches d'âges préfèrent utiliser des moyens de transports plus adaptés à leur condition physique. Une population active jeune et dynamique aura des attentes qui diffèrent de celles d'une population active vieille ou ayant des enfants.

L'analyse des groupes d'âge pour la population de Montréal *Figure ci-dessous* prouve que la population n'est pas très jeune, la tranche d'âge dominante est 40-50 ans. La pyramide d'âge de la population active présente la même forme que celle de la population, un peu plus d'actifs de 40-50 ans que d'actifs de 20-30ans.

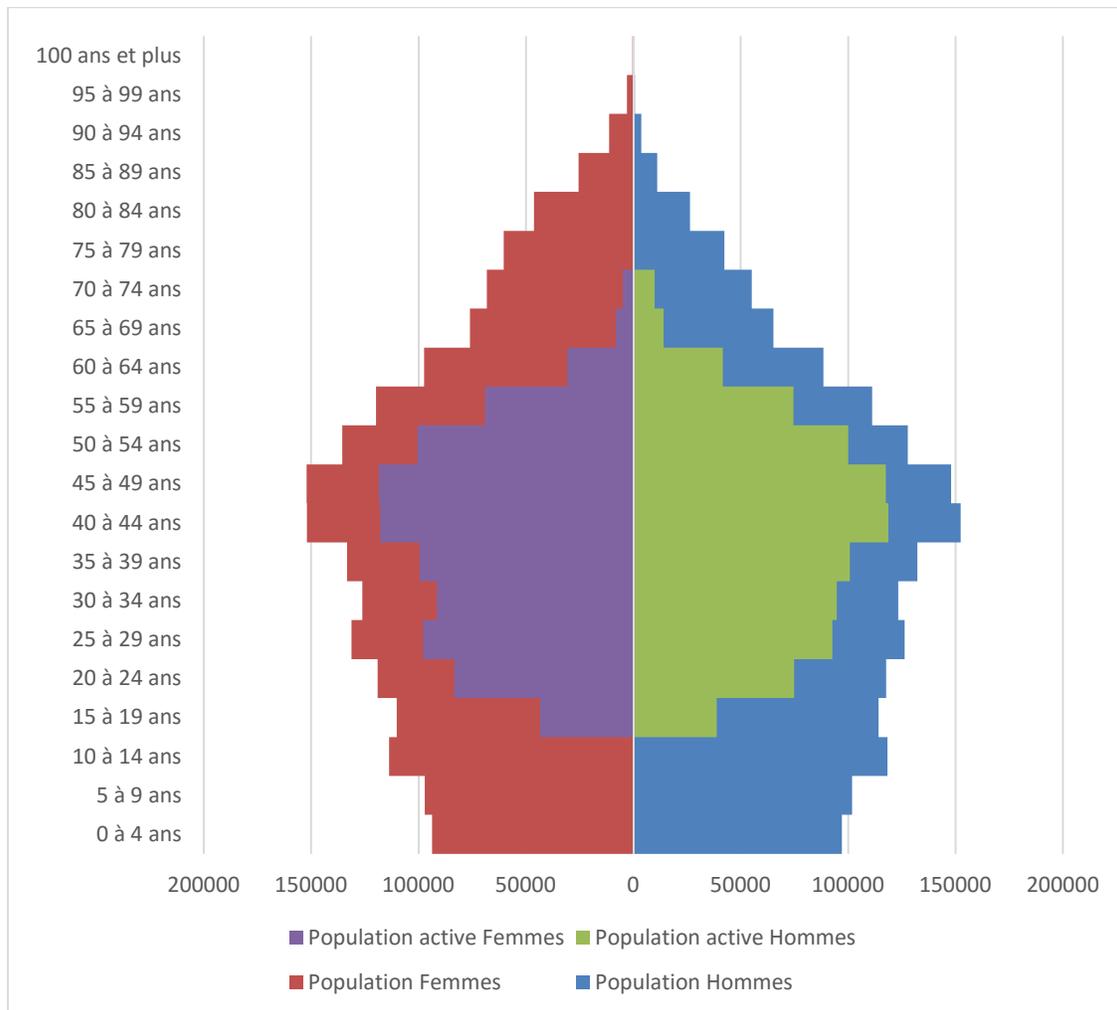


Figure 125 : Pyramide des âges de la population active âgée de 15 ans ou plus de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

Mode de transport

Toujours, d'après les données du consortium sur le lieu de travail, il s'avère que le mode de transport le plus utilisé pour le navettage Domicile-Travail est l'automobile, la fourgonnette ou le camion en tant qu'auto-conducteur (AC) avec une part modale de 65%. Le transport en commun n'est quant à lui utilisé en tant que moyen de navettage que pour 22% de la population. Il est clair que la population active à Montréal est en grand nombre auto-conductrice, ceci confirme l'intérêt de se concentrer autour du réseau routier et autour des scénarios de gestion de la demande automobile.

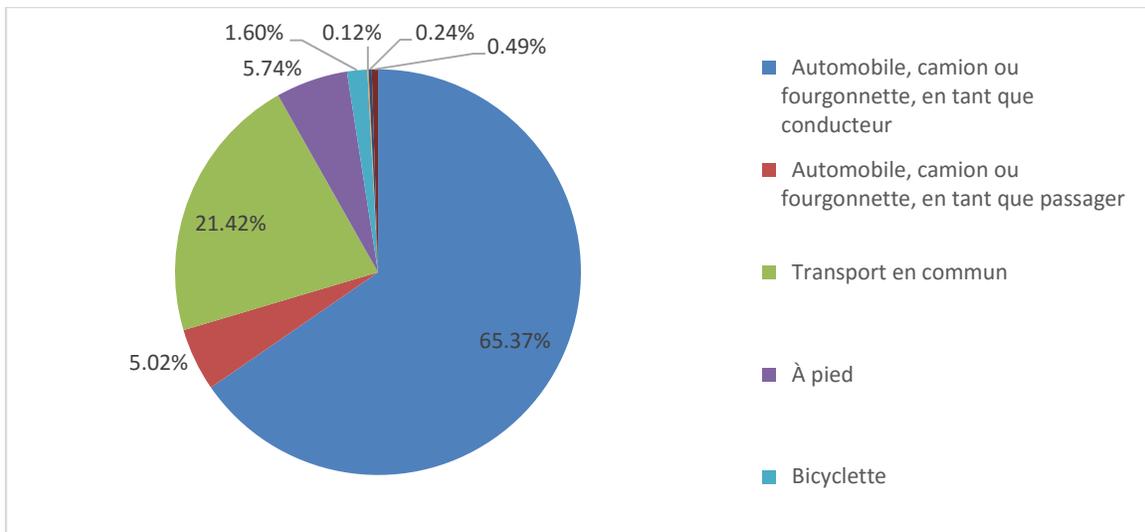


Figure 126 : Mode de transport pour la population active occupée de 15 ans et plus, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)

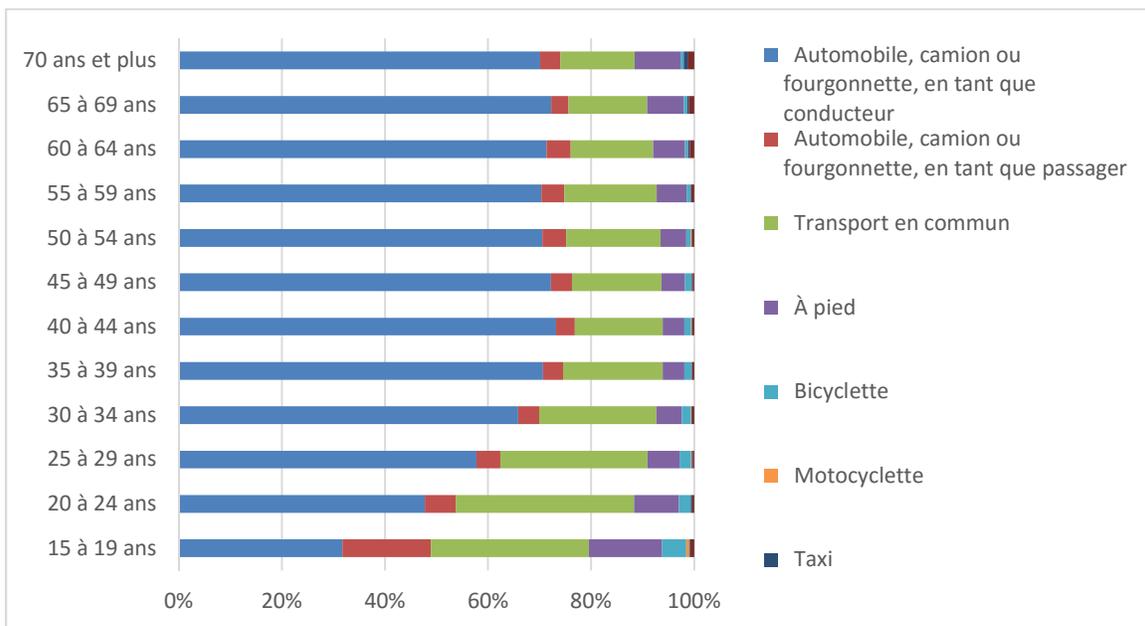


Figure 127 : Mode utilisé pour les navettages Domicile-travail pour la population active âgée de 15 ans et plus - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

Typologie du lieu de travail

Le télétravail représente lui aussi un scénario pour la mitigation de la congestion, en effet travailler chez soi permet d'éviter la corvée des déplacements. Actuellement, à Montréal, seulement 6% de la population active de plus de 15 ans s'adonne à la pratique du télétravail *Figure ci-dessous*.

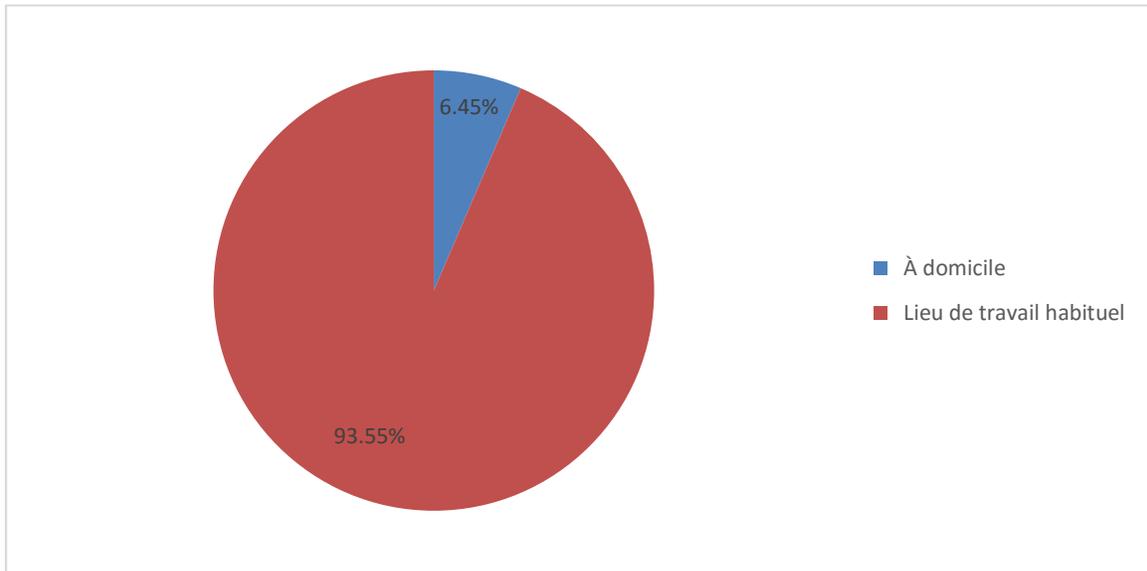


Figure 128 : Lieu de travail pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu de travail habituel ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)

Travailler à temps plein ou à temps partiel diffère, il pourrait être plus facile d'agencer les horaires de travail des emplois à temps partiel pour éviter les heures de pointes. À Montréal, en 2006, il y avait près de 59% de travailleurs à temps plein contre 38% à temps partiel. Le nombre de travailleurs à temps partiel est tout de même important.

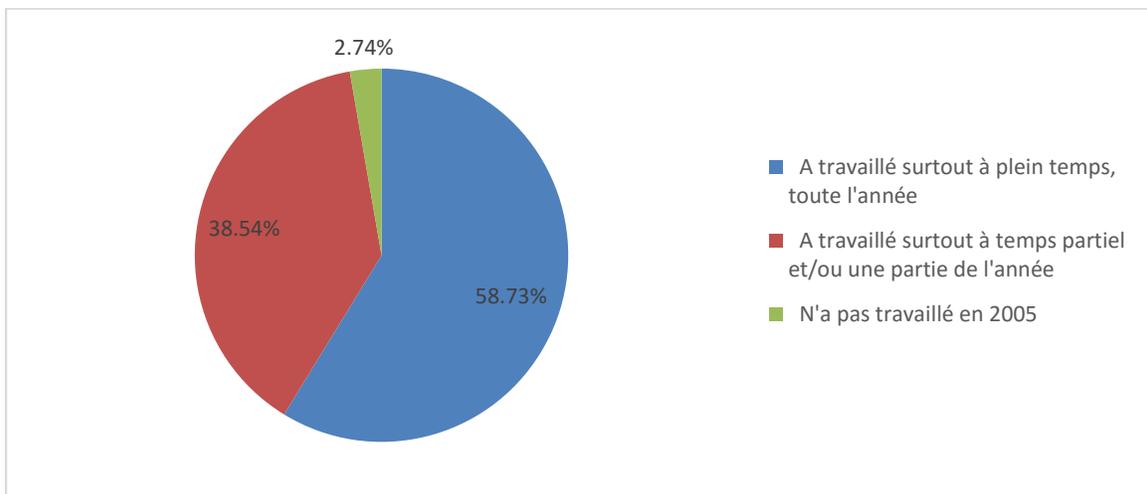


Figure 129 : Type d'emploi pour la population active occupée de 15 ans et plus, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)

Langue parlée à la maison et plus haut diplôme des travailleurs

Connaître les langues parlées par la population active est très intéressante pour la planification des transports, en effet, la communication avec le voyageur sur le réseau de transport en commun (indications, plans, horaires, etc.) doit être comprise par la majorité de la population active qui emprunte le réseau au quotidien. À Montréal, le Français représente plus de 68% des langues parlées suivi de l'Anglais qui représente quant à lui 11%.

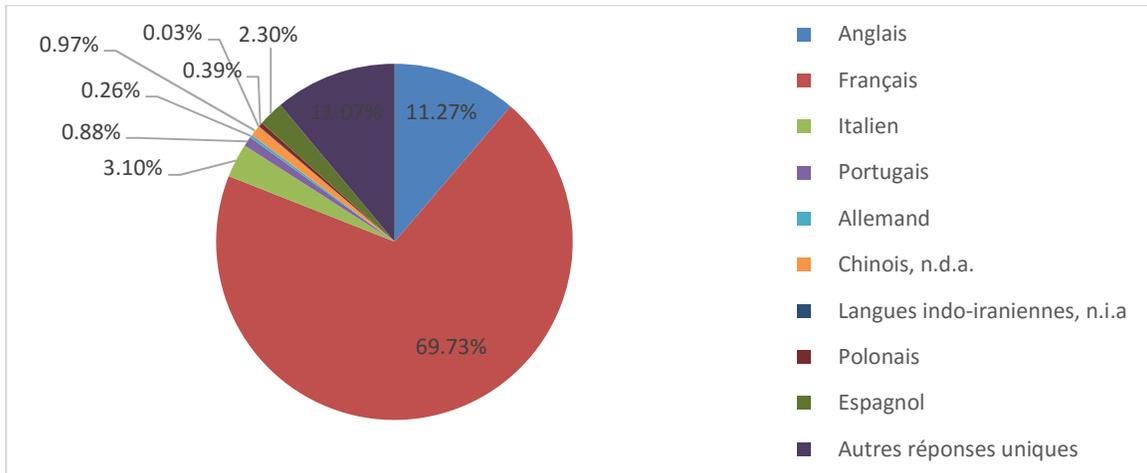


Figure 130 : Langue parlée à la maison pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu de travail habituel ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)

Plus de 88% des travailleurs de Montréal avaient en 2006 un certificat, un diplôme ou un grade.

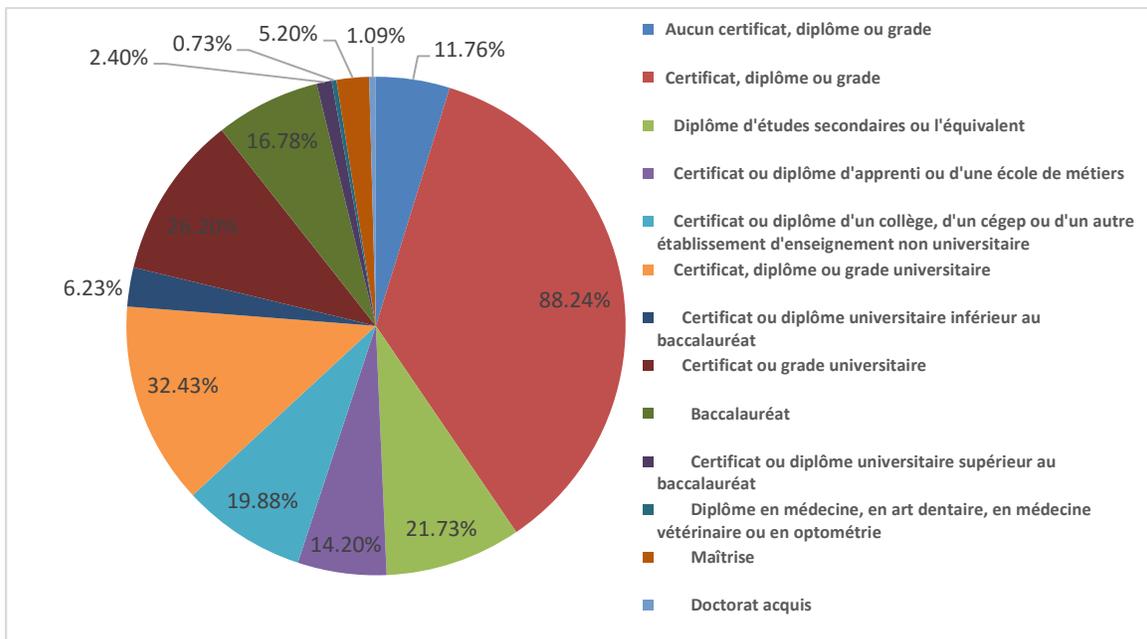


Figure 131 : Plus haut grade, certificat ou diplôme pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu de travail habituel ou travaillant à la maison, pour Montréal, recensement de 2006 - Données-échantillon (20 %)

Analyse du navettage : En provenance et à destination de Montréal

L'analyse du navettage des travailleurs est la partie la plus intéressante de l'analyse des données de *statistiques Canada*, en effet, il est souhaité de comprendre différents comportements des travailleurs : La distance moyenne des navettages (intéressante pour évaluer l'*Excess commuting* des travailleurs de Montréal), les principaux corridors des déplacements, les durées des déplacements, les horaires de déplacements et tout autre

paramètre permettant de mieux envisager les scénarios de gestion de la demande de déplacements automobile.

Tout d’abord il est intéressant de visualiser la densité de population par municipalité afin de pouvoir avoir une idée sur les zones les plus résidentielles.

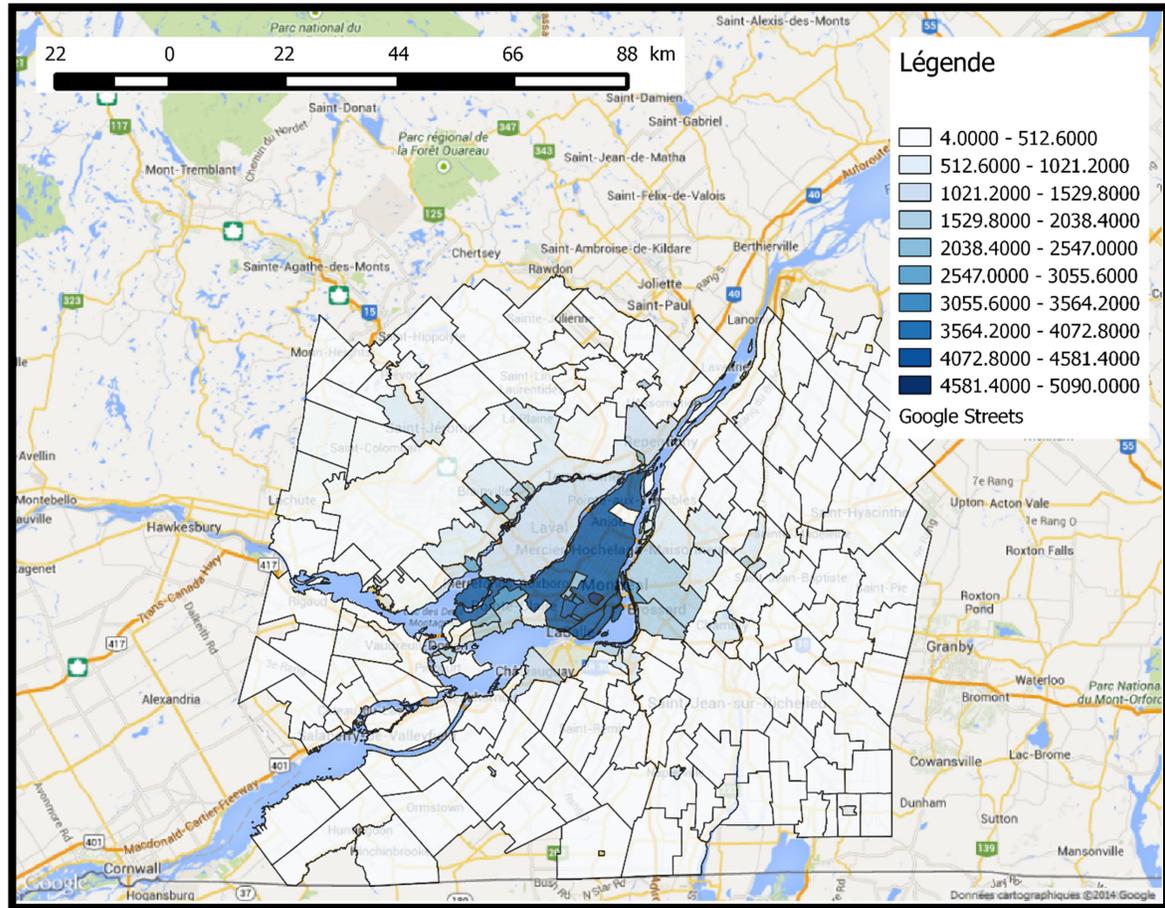


Figure 132: Densité de population selon la municipalité de résidence – Recensement 2006 – Données échantillon 20%

Il apparaît que Westmount suivi de Côte-Saint-Luc puis de Montréal sont les trois municipalités avec la plus grande densité de population.

Navetteurs habitants Montréal Vs navetteurs travaillant à Montréal

Il a été analysé à partir des matrices de déplacements géoréférencés, la provenance des travailleurs à la municipalité de Montréal ainsi que la destination des travailleurs habitants Montréal, les tableaux géoréférencés couvrent les types de lieux de résidence (SDR : Municipalité) et les types de lieux de travail (SDR), D’une part, il s’agit du tableau « T22_SDR_SDR_LDR » qui est la matrice utilisée pour déterminer le secteur d’habitation des travailleurs de la municipalité de Montréal. D’autres part, la matrice « T22_SDR_SDR_LDT » sera utile pour déterminer les lieux de travail (les municipalités) des habitants de Montréal.

Les premiers résultats obtenus prouvent qu'il y a 939 185 travailleurs dans la municipalité de Montréal dont 551 720 habitent la municipalité de Montréal, et qu'il y a 669 535 habitants de la municipalité de Montréal dont 117 815 travaillent dans d'autres municipalité que leur municipalité de résidence. Les figures ci-dessous montrent les principaux lieux de travail des habitants de Montréal.

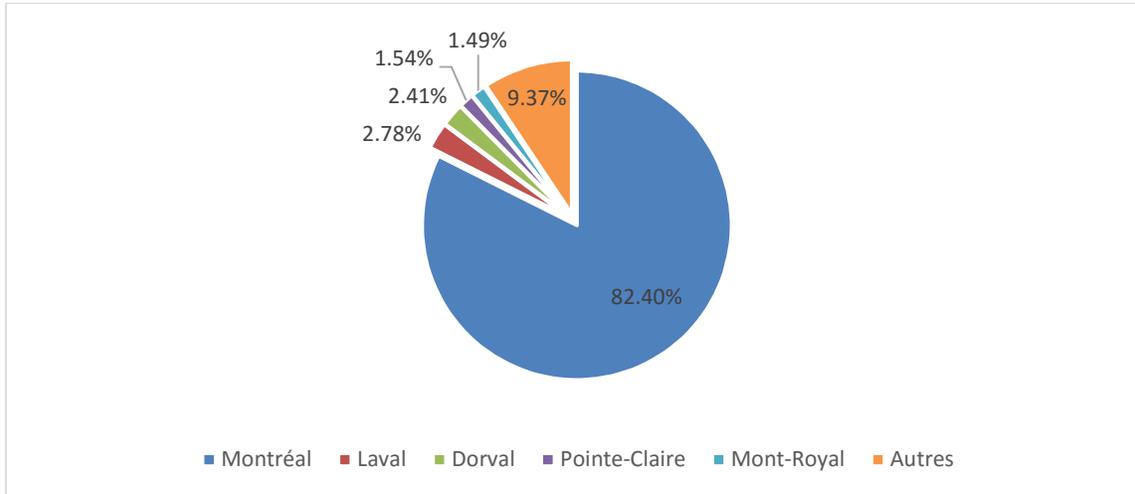


Figure 133 : Lieu de travail des habitants de Montréal

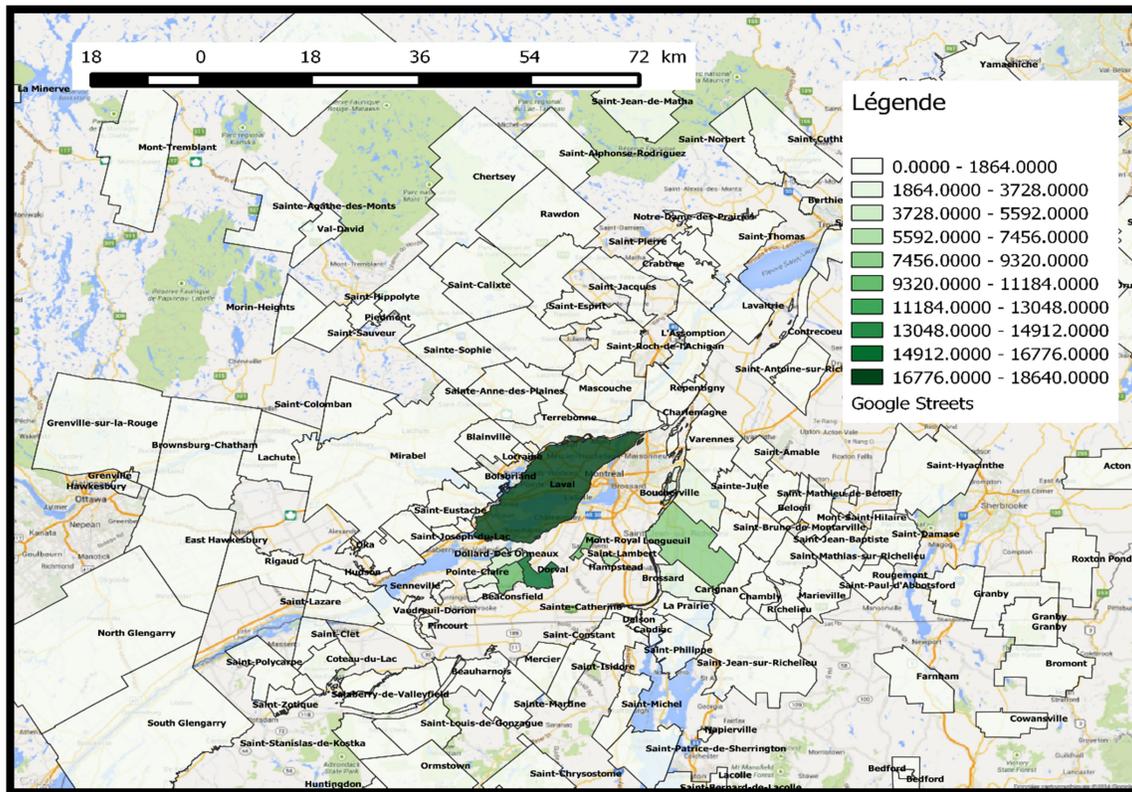


Figure 134: Lieu de travail des travailleurs qui habitent à Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

La figure ci-dessous montre les principaux lieux d'habitation des travailleurs de Montréal.

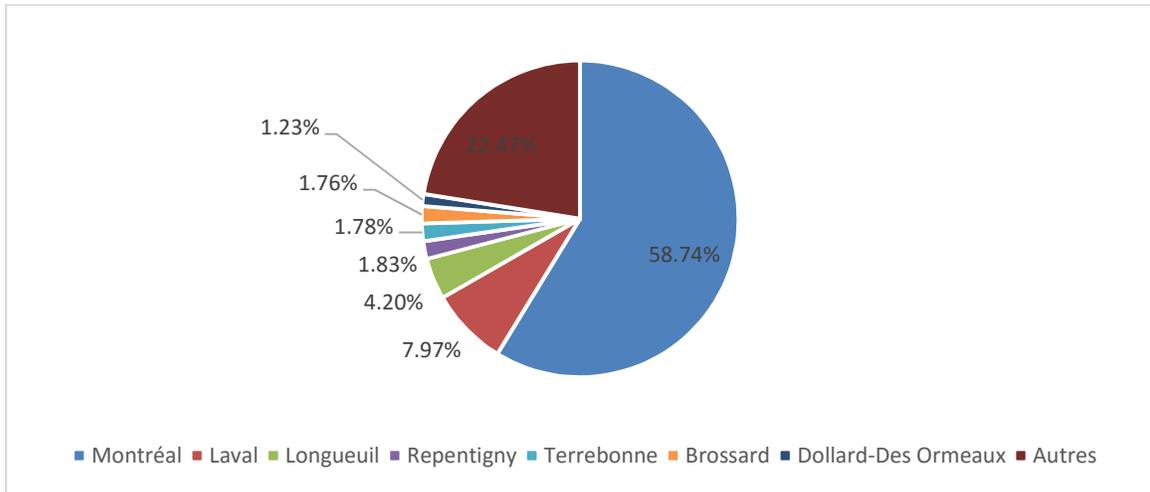


Figure 135 : Lieu d'habitations des travailleurs de Montréal

Ci-dessous il est possible d'apprécier le rapport en pourcentage du nombre de travailleurs qui travaillent à Montréal par rapport à la population de leur municipalité de résidence.

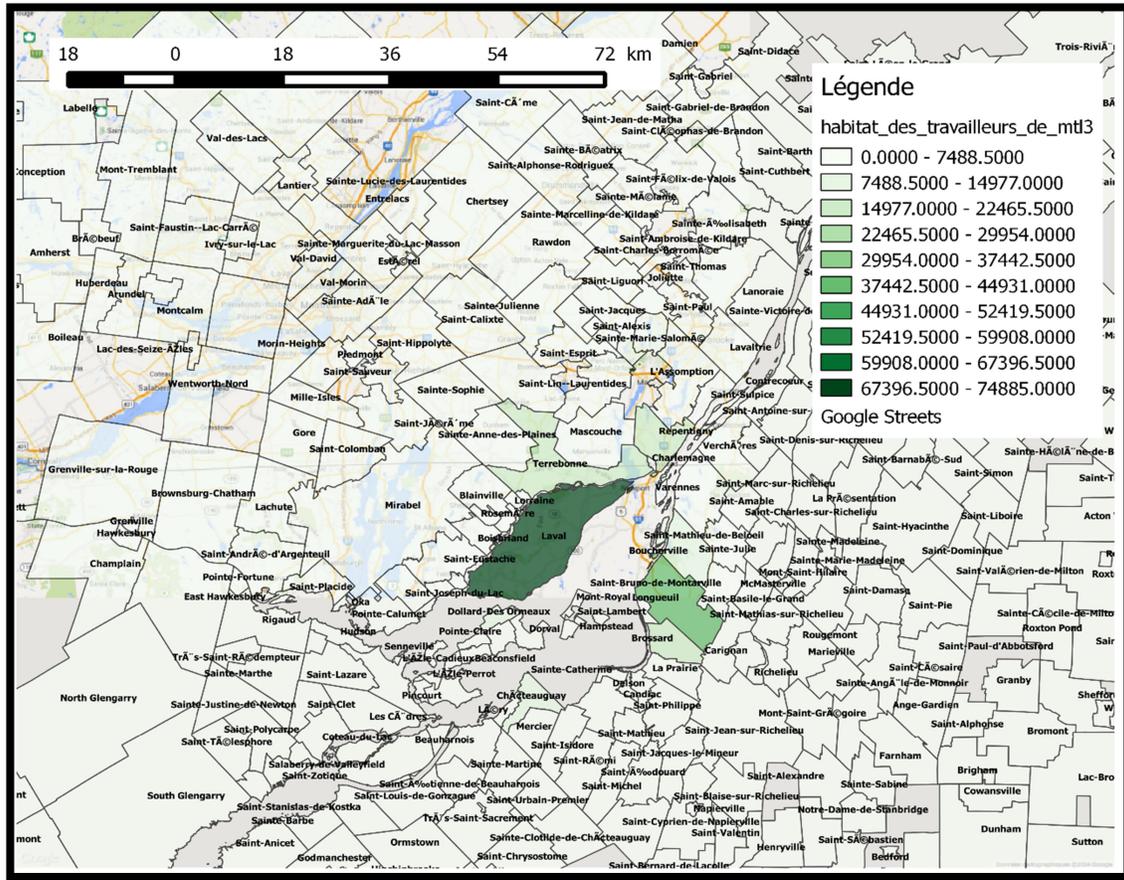


Figure 136: Lieu d'habitation des travailleurs de Montréal qui résident hors de la municipalité de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

Analysons le nombre de navetteurs quotidiens pour les trois municipalités comportant le plus grand nombre de travailleurs en direction de Montréal, il apparaît ici aussi que les principaux travailleurs de Montréal habitent la municipalité de Montréal, en effet, ils représentent plus de 6 fois plus le nombre de travailleurs en provenance de Laval ou de Longueuil *Figure ci-dessous*. Aussi, il y a légèrement plus de femmes que d'hommes qui habitent Montréal et qui y travaillent, tandis qu'il y en a légèrement moins qui travaillent Laval où Longueuil et qui travaillent Montréal.

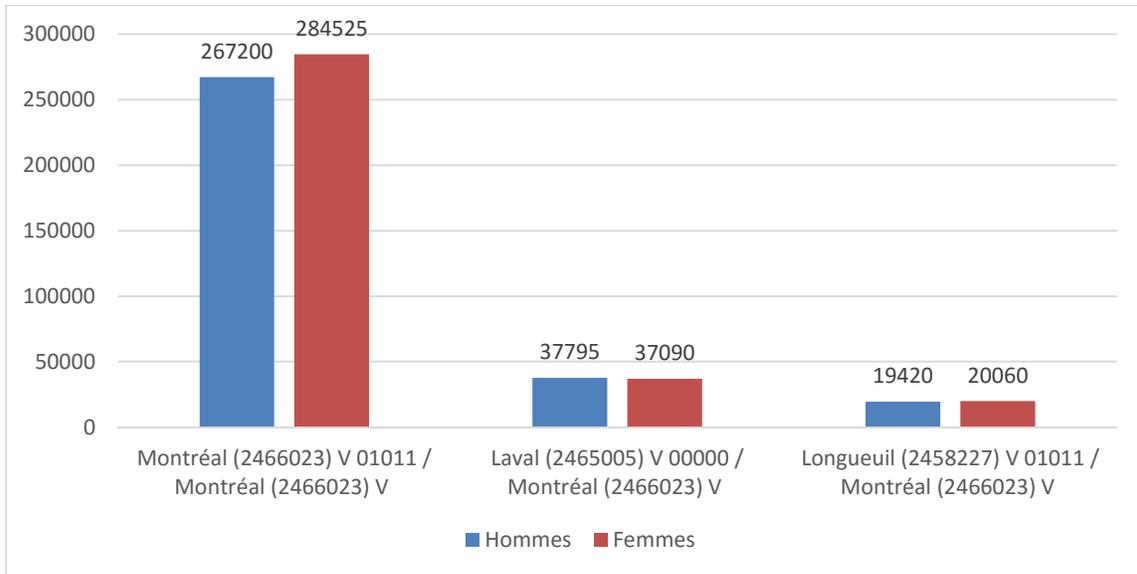


Figure 137 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les trois municipalités comportant le plus grand nombre de travailleurs en direction de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

On peut apprécier ci-dessous la répartition du nombre de navetteurs quotidiens pour les municipalités ayant plus de 1800 travailleurs en direction de Montréal.

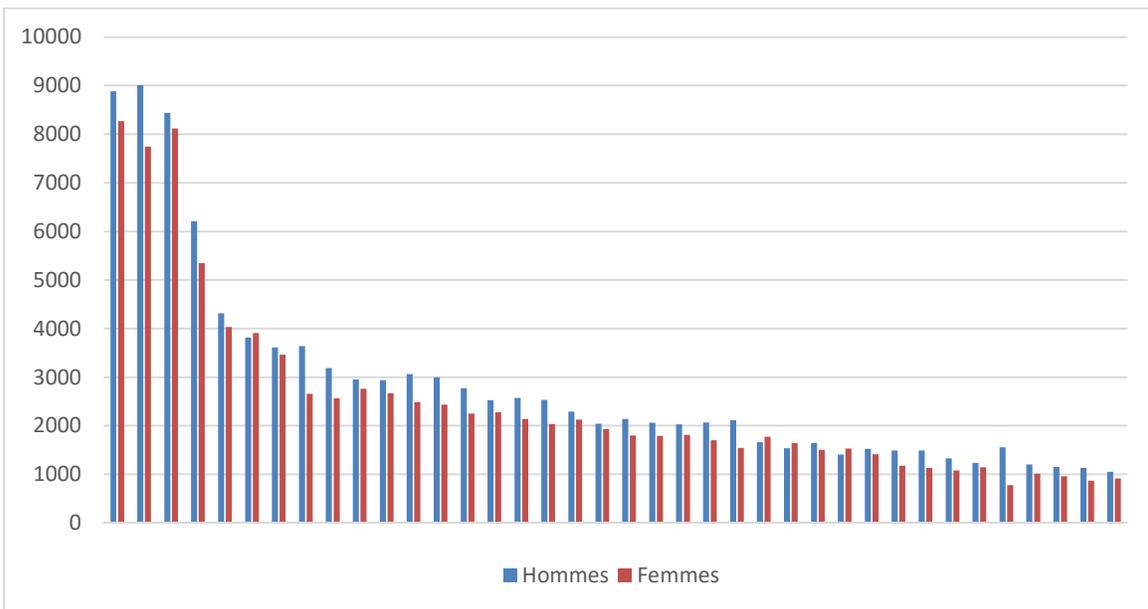


Figure 138 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les municipalités ayant plus de 1800 travailleurs en direction de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

Aussi, en analysant de plus près la réciproque, c'est-à-dire, le nombre de navetteurs quotidiens pour les trois municipalités les plus visitées par les travailleurs en provenance de Montréal *Figure ci-dessous*, on se rend compte qu'il y a très peu de personnes qui habitent Montréal et qui travaillent dans d'autres municipalités que Montréal, environ 24 fois de moins de travailleurs.

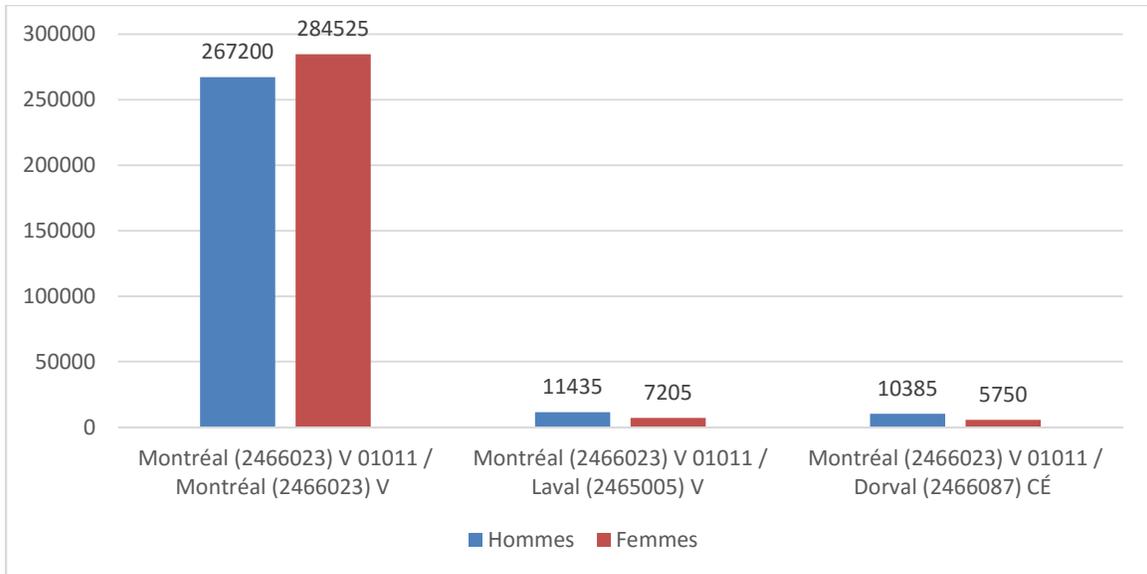


Figure 139 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les trois municipalités les plus visités par les travailleurs en provenance de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

De plus, si l'on analyse le nombre de navetteurs quotidiens pour les municipalités ayant plus de 1800 travailleurs en direction de Montréal, on se rend compte que les municipalités ayant le plus de navetteurs ne sont pas les mêmes que celles pour les travailleurs en direction de Montréal. Il serait intéressant d'analyser les raisons de ces différences.

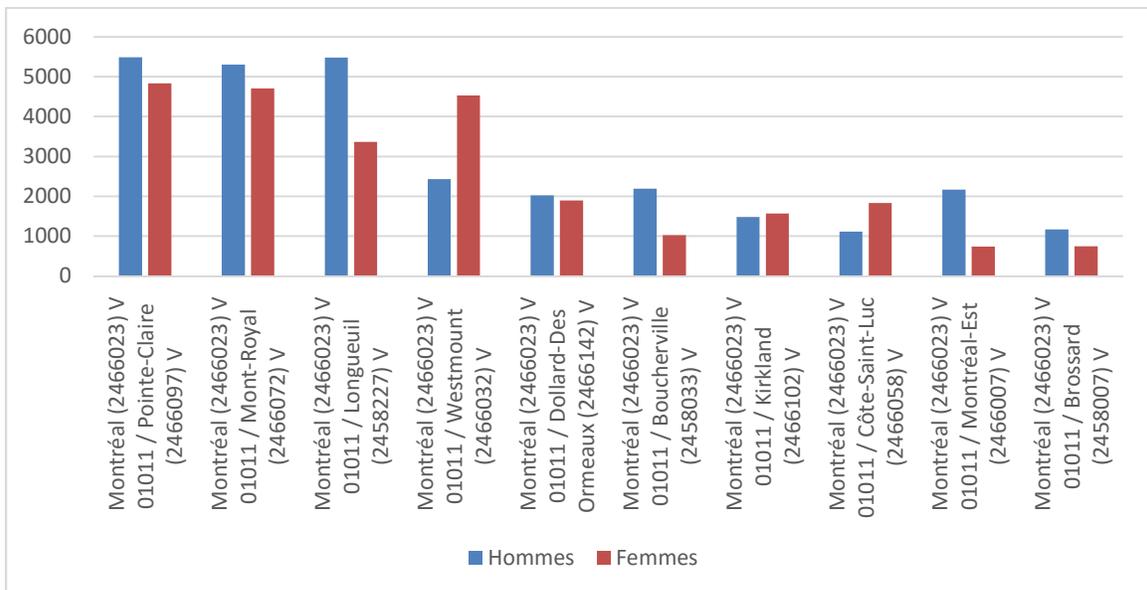


Figure 140 : Nombre de navetteurs quotidiens pour les municipalités ayant plus de 1800 travailleurs en provenance de Montréal - Recensement de 2006 - Données échantillon 20%

Distances et durées de navettage

Une analyse des données du recensement de 2006 permet aussi d’avoir la distance médiane des déplacements domicile-travail qui est estimée à 8.1Km, la figure 3.4.10 présente le nombre de personnes par catégorie de navettage (distance de navettage), plus de 33% des navetteurs réalisent un navettage de moins de 5km, cependant il y a tout de même 8% de navetteurs qui font 25 km et plus par jour de navette, ceci peut avoir bien évidemment des conséquences néfastes sur la santé des individus, il serait intéressant de comprendre les raisons qui poussent certaines personnes à habiter aussi loin de leur lieu d’emploi.

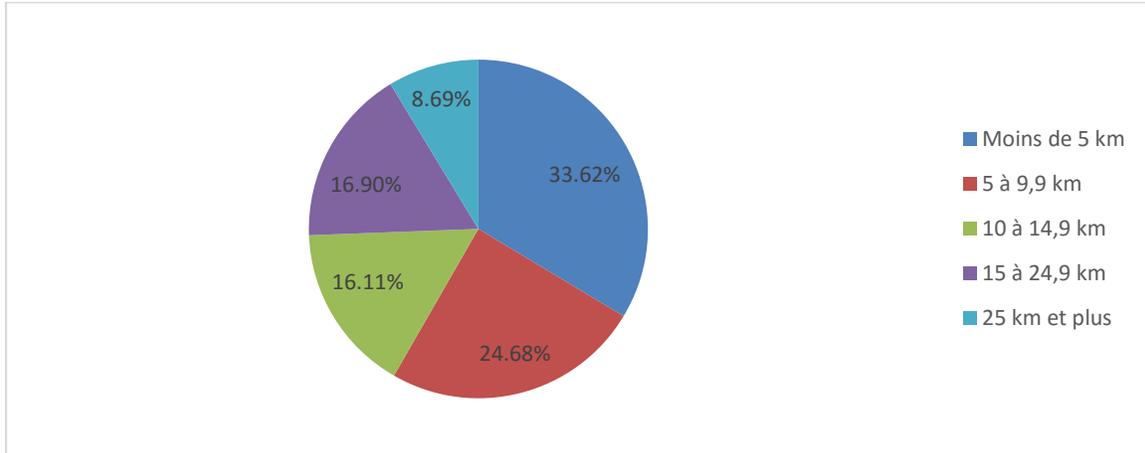


Figure 141 : Distances de déplacements pour la population âgée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail, chiffres de 2006, Montréal - Données-échantillon (20 %)

Analysons la durée des navettages Domicile—Travail selon le mode de transport préféré des riverains pour les déplacements longues-courtes durées. La figure ci-dessous représente la répartition des durées de déplacement selon le mode de transport utilisé pour les navettages Domicile-Travail internes à Montréal.

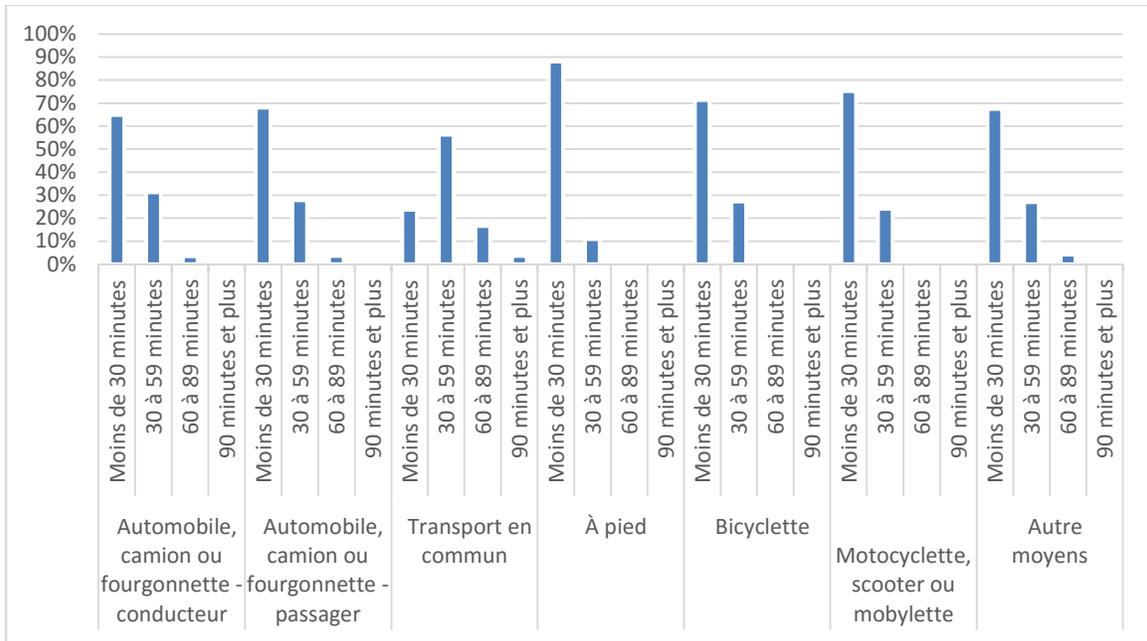


Figure 142 : Durée des déplacements selon le mode de transport utilisé - Recensement 2006 - Données échantillon 20%

Il est remarquable que l'automobile en auto-conducteur soit utilisée à hauteur de 70% pour les déplacements de moins d'une heure. Le transport en commun est quant à lui utilisé à 20% environ pour les mêmes durées de déplacements.

Néanmoins, il est appréciable que pour les navettages domicile-travail qui concernent les déplacements à pied de moins de 30min, la part modale s'élève tout de même à 10% du total des déplacements.

Heures de pointe

Les horaires de déplacement représentent une partie très intéressante de l'étude de mobilité, en effet, il n'y aurait pas de problème de congestion si il n'y avait pas de concentration spatiale—temporelle des déplacements. La figure ci-dessous représente les différents horaires de départ pour les navettages domicile-travail de Montréal, il est remarquable que la majorité des départs (environ 68%) sont réalisés tôt le matin (entre 5h et 8h30), les hommes semblent se lever plus tôt que les femmes avec tout de même 33% de plus qui partent au travail entre 5h et 7h, les femmes ont tendances à partir au travail un peu plus tard (entre 7h et 8h30) avec environ 30% de plus que les hommes à cette plage horaire.

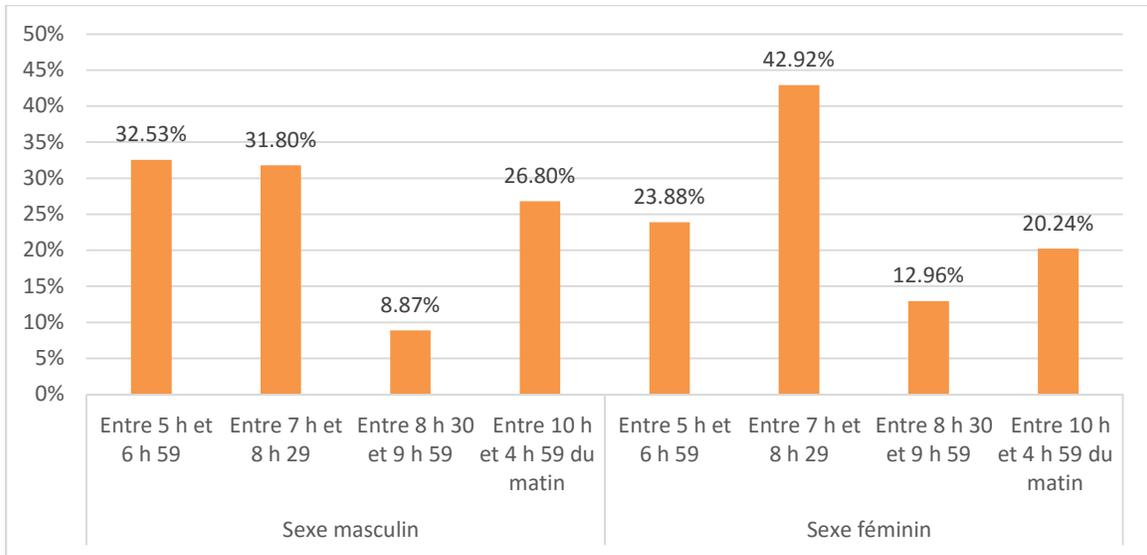


Figure 143 : Horaires de départ pour les navettages domicile-travail de Montréal – Recensement de 2006 – Données échantillon 20%

3.8.6 Échéancier de réalisation

Tableau 23 : Échéancier de réalisation

Activités	2014			2015	
	Hiver	Été	Automne	Hiver	Été
Suivi des cours réguliers	■		■		
Revue de littérature	■	■		■	
Traitement des données de statistiques Canada		■			
Traitement des données d'enquêtes OD		■	■	■	
Analyse descriptive et étude des corrélations		■	■		
Diagnostic des déplacements automobiles		■	■	■	
Évaluation des scénarios de gestion de la demande automobile et simulations		■	■	■	
Rédaction du mémoire			■		■
Présentation des travaux			■	■	■

4 Outil intégré

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

Cette recherche est financée par différents projets de R&D en collaboration avec le MTQ et l'AMT (cas de l'enquête régionale montréalaise de 2013).

4.1 Introduction

Que ce soit pour en accroître l'efficacité et la durabilité ou pour en planifier l'évolution, il est essentiel pour les différents acteurs œuvrant dans le domaine du transport des personnes de dresser un portrait juste et précis de la mobilité et de l'état des réseaux sur lesquels ils interviennent. En effet, l'augmentation incessante des coûts de maintien et d'amélioration des réseaux ainsi que l'imputabilité grandissante des décideurs en regard des actions qu'ils posent sur les systèmes de transport soulèvent des questionnements sur l'utilisation efficace des ressources humaines et matérielles dans cette sphère. De plus, la problématique de la durabilité en transport suscite le besoin de mesurer l'empreinte environnementale des déplacements, l'accessibilité, les effets sur la santé et sur l'équité sociale ainsi que l'influence de la mobilité sur les économies locale et globale. Conséquemment, les intervenants du domaine doivent planifier leurs projets simultanément à court et à long terme de façon à ce que les changements apportés aux réseaux dont ils ont la responsabilité puissent répondre autant aux besoins de mobilité actuels des utilisateurs qu'aux futurs.

Dans le but de mieux connaître la mobilité des populations, des enquêtes de type Origine-Destination sont tenues régulièrement dans plusieurs régions du monde. Elles visent à évaluer les tendances des comportements de déplacements et, après analyse, à obtenir un diagnostic des problématiques entourant les réseaux de transport empruntés par la population de laquelle on a tiré un échantillon représentatif. Ces enquêtes servent, dans un premier temps, de référentiel ou de calibration pour une modélisation pointue des déplacements des populations étudiées, ce qui, dans un deuxième temps, guide les intervenants dans les changements qu'ils apporteront aux réseaux de transport sous-jacents et à l'aménagement des villes. Bien entendu, pour que l'on puisse, d'une part, rendre compte de l'état de la situation, et d'autre part, obtenir des modèles qui soient le plus près possible de la réalité, une grande quantité de données provenant de multiples sources doivent être rassemblées. Toutefois, la gestion des bases de données entourant les enquêtes de mobilité constitue un véritable casse-tête puisqu'en effet, les outils technologiques qui intègrent de manière cohérente les trois phases de la gestion des données de mobilité (la collecte, l'analyse et la visualisation des résultats) sont rares et, lorsqu'existant, souvent inefficaces ou inadéquats. Parallèlement, rejoindre un échantillon représentatif des populations étudiées lors des enquêtes Origine-Destination demeure un défi substantiel qui nécessite de plus en plus la fusion de données provenant de modes

d'enquête distincts. Dans la plupart des cas, les entrevues se font par téléphone ou par la poste auprès d'un échantillon sélectionné de ménages ou de personnes, mais de crainte de voir les taux de réponse chuter avec les années, les organisateurs de telles enquêtes explorent la possibilité d'utiliser des versions en ligne de leur questionnaire. De cette façon, ils essaient de rejoindre les cohortes de la population de plus en plus difficiles à atteindre, en l'occurrence les jeunes et les ménages qui n'ont plus de ligne téléphonique terrestre.

Afin de faciliter l'intégration des phases de collecte, d'analyse et de visualisation des données de mobilité, il était primordial de créer un outil interactif accessible en ligne qui puisse aider les chercheurs en transport à toucher des échantillons plus représentatifs de la population qu'ils étudient, à gagner du temps et à présenter des analyses plus précises et plus rigoureuses tout en favorisant une diffusion des données auprès des intervenants du milieu ou du grand public grâce à des modules de visualisation innovateurs. À ce propos, c'est dans le cadre de ce projet qu'un outil intégré de collecte, d'analyse et de visualisation de données de mobilité a été réalisé et mis en valeur.

4.2 Problématique

Collecte • Introduction du mode web pour la collecte de données de mobilité au moyen d'enquêtes Origine-Destination

En tant qu'instigatrices d'enquêtes Origine-Destination qui rendent compte de la mobilité des populations, la plupart des autorités dont la fonction est de maintenir et de développer des réseaux de transport sont sensibles à l'évolution des problématiques entourant le recrutement des individus et des ménages participants. Afin de faire face à la difficulté croissante d'obtenir des échantillons représentatifs de la population, pour réduire le coût des entrevues et dans le but de contrer l'accroissement du taux de non-réponse, les organisateurs des enquêtes de mobilité ont proposé l'intégration d'un nouveau média d'enquête: le questionnaire en ligne.

En effet, la présence toujours plus grande du téléphone cellulaire dans les ménages provoque une constante réduction du nombre de domiciles possédant une ligne téléphonique fixe conventionnelle. Selon l'enquête sur le service téléphonique résidentiel de Statistiques Canada de 2010, 50% des ménages de 18-34 ans utilisent seulement le cellulaire, c'est-à-dire qu'ils ne possèdent aucune ligne téléphonique terrestre. De plus, il est possible que les taux de réponse aux enquêtes souffrent de la disponibilité de plus en plus mince des ménages pour répondre par téléphone durant les périodes d'entrevue, sans compter que les individus peuvent perdre la motivation à participer à des enquêtes téléphoniques du fait de leur fréquence de plus en plus élevée. Enfin, certains groupes, comme les étudiants demeurant dans des résidences et dont le numéro de téléphone n'est pas publié dans les annuaires publics, sont difficiles à joindre sans établir un contact préalable avec les institutions scolaires concernées.

Une des solutions les plus prometteuses mises de l'avant est le développement d'une version web des questionnaires d'entrevue. Le mode web peut être intégré à n'importe quel mode de recrutement (que ce soit par courriel, par téléphone, par la poste, au moyen

d'annonces publicitaires ou par l'intermédiaire d'un employeur ou d'une institution scolaire) et permettra de mettre à profit les réseaux sociaux.

Analyse • Suivi, validation, analyse statistique et enrichissement des données d'enquête de mobilité

Il va de soi que pour obtenir des résultats justes et précis à partir des données d'enquête de mobilité, la phase d'analyse doit être complétée en plusieurs étapes et doit traverser de nombreux filtres. En premier lieu, pendant la collecte de données, un suivi quotidien de l'échantillon de répondants est privilégié afin d'assurer la meilleure représentativité possible par rapport à l'univers étudié et d'orienter, au besoin, les recrutements subséquents. La collecte terminée, l'analyste doit pouvoir valider les données recueillies. Par la suite, l'analyse statistique caractérise l'échantillon étudié et fait ressortir les tendances principales mesurées par l'enquête.

L'enrichissement des données comprend en premier lieu la pondération, qui, dans la plupart des cas, est essentielle pour projeter l'échantillon sur l'univers d'étude (la population concernée par l'analyse). D'autre part, des données de voisinage (attributs socio-démographiques et économiques locaux, accessibilité aux différents services de transport et aux paniers de biens et services, caractéristiques du réseau routier, etc.) assurent une mise en contexte des réponses fournies par les répondants. Finalement, la fusion de multiples modes de collecte de données (web, téléphonique, postal, gps, etc.), présente un défi méthodologique important, mais demeure sans doute la seule solution à moyen terme pour faire face aux problématiques associées à la chute des taux de réponse relative à certaines cohortes sollicitées par les modes traditionnels d'enquête.

Des logiciels existant accomplissent certaines de ces tâches. Néanmoins, aucun ne permet de les effectuer toutes dans une même interface, encore moins de le faire dans une optique spécialisée en transport. Or, le nombre d'enquêtes de mobilité produites dans le monde ne cesse de croître. Un outil intégré dont la fonction est de répondre aux besoins énoncés précédemment permettra autant de structurer et de bonifier les analyses sur la mobilité que d'en accélérer et d'en simplifier le processus.

Visualisation • Faits saillants, diffusion des résultats, cartes animées et outils pertinents pour visualiser la mobilité des personnes

Bien qu'il existe une panoplie d'outils de visualisation sur le marché, un manque de cohérence se fait sentir dans le domaine. Il est souvent difficile de choisir le bon outil pour chaque objectif de visualisation. Pourtant, les outils de visualisation en transport, lorsque employés adéquatement, sont prometteurs pour deux raisons : d'une part ils assistent l'analyse en explorant les données sous des angles nouveaux et d'autre part, ils assurent une diffusion efficace et séduisante des données auprès du public.

4.3 Objectifs de la recherche

- Proposition d'un schéma relationnel normalisé pour les données de mobilité dans le but de favoriser une collecte rigoureuse et efficace de données.
- Proposition d'une structure d'entrepôt de données de mobilité suivant le concept de la modélisation multidimensionnelle (*Dimensional Modelling*). En plus

- d'accélérer les analyses et de les simplifier, l'entrepôt de données assure un archivage cohérent des données et une meilleure consolidation de celles-ci en adoptant les principes de l'informatique décisionnelle (*Business Intelligence*).
- Création d'un outil de gestion de questionnaires web utilisé dans le cadre d'enquêtes permettant d'étudier la mobilité des personnes (collecte de données de mobilité)
 - Questionnaire (sections, questions, choix de réponse et validation en temps réel des réponses configurables par les administrateurs)
 - Interface de collecte d'informations sur les déplacements simplifiée et clarifiée au moyen de cartes
 - Modules de validation des déplacements et des modes de transport
 - Création d'un outil de suivi et de validation des entrevues colligées au moyen du questionnaire web ou lors d'autres enquêtes importées dans la base de données
 - Module de suivi des entrevues et du comportement des répondants
 - Module de validation des entrevues
 - Mesures statistiques, distributions et graphiques dynamiques
 - Module d'enrichissement des données (pondération, fusion, données externes, etc.)
 - Création d'un outil de visualisation et de diffusion des résultats
 - Création automatisée de cartes animées de déplacements
 - Création automatisée de cartes présentant des cellules animées permettant de visualiser la distribution spatiale de différents objets (personnes, véhicules, etc.) en fonction du temps
 - Intégration d'objets de visualisation des données de mobilité dans l'espace et le temps
 - Création de nouveaux objets de visualisation dynamiques

4.4 Aperçu schématique de l'outil et degré d'avancement des modules

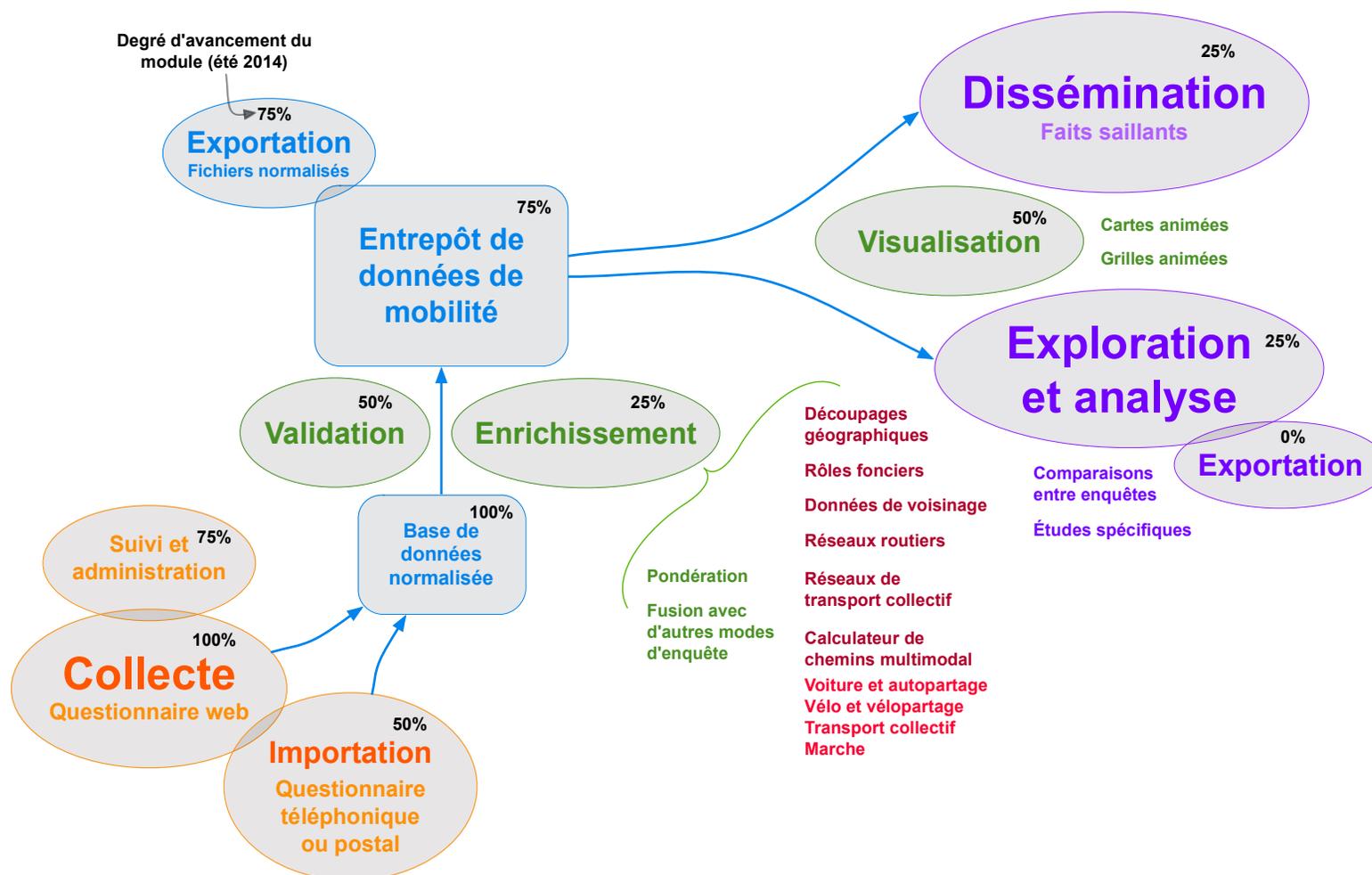


Figure 144 : Aperçu schématique de l'outil et degré d'avancement des modules

4.5 Description de l'application

Collecte • Questionnaire web

L'outil de collecte comprend le questionnaire d'enquête en ligne et le système d'authentification des utilisateurs (répondants et administrateurs). À l'exception de la section sur les déplacements, la totalité du questionnaire est modifiable par l'administrateur. Celui-ci détermine les sections du questionnaire, les questions à poser, les choix de réponses et les types de données ainsi que les validations à effectuer en temps réel lors des entrevues.

La section «Déplacements» comprend trois sous-sections: les lieux visités, l'heure à laquelle les lieux ont été visités et les modes de transport. Le répondant doit y localiser sur une carte interactive les lieux où il est allé pendant la période d'enquête sélectionnée (habituellement, le dernier jour ouvrable). Des raccourcis peuvent être utilisés, par exemple, le lieu de domicile du répondant, son lieu de travail ou d'étude habituel ou tout lieu pertinent relatif à l'enquête. De plus, le répondant peut entrer une adresse, choisir une intersection ou chercher un lieu public ou commercial à l'aide d'un répertoire comme celui de Google. Lorsque tous les lieux visités par le répondant ont été sélectionnés et géolocalisés, les heures de départ et d'arrivée de chacun des lieux doivent être indiquées. Une ligne du temps apparaît alors au bas de l'écran, ce qui permet au répondant de visualiser son horaire pour la période sélectionnée. Finalement, les modes de transport choisis pour chaque déplacement sont demandés au répondant. Des validations peuvent être ajoutées à cette sous-section pour assurer une qualité de réponse adéquate. Par exemple, la liste des lignes de transport en commun peut être intégrée à l'outil par l'intermédiaire de la base de donnée du ou des réseaux concernés. De plus, l'horaire et les parcours sont vérifiés et validés. Le calcul en temps réel des distances de déplacement permet également d'éliminer les modes incompatibles des choix de réponses (mode avion, train interurbain ou bus interurbains pour les déplacements courts par exemple) et des opérations de validation sur des entités géographiques importées au préalable peuvent assurer une cohérence encore meilleure des choix de modes autorisés pour chaque déplacement.

L'outil de collecte permet deux catégories d'entrevues: une entrevue personne et une entrevue ménage. La première recueille des informations sur un seul répondant (quelques informations générales sur le ménage et ses membres peuvent tout-de-même être demandées). La deuxième s'articule autour de tous les membres d'un ménage. En d'autres mots, elle collige les informations socio-démographiques et les données sur la mobilité de l'ensemble des membres du ménage. Une **démonstration interactive du questionnaire de type personne** (enquête régionale de Sherbrooke 2012-2013) est accessible à cette adresse :

<http://www.youtube.com/embed/Pq1eLIA6zL4>

Tableau de bord • Suivi et validation

Le tableau de bord comprend un module de suivi et d'administration, un module de validation et d'observation des entrevues et un module présentant les indicateurs statistiques et les distributions de variables mesurées pour chaque type d'objet faisant partie du processus d'entrevue (ménage, personne, déplacement). L'administrateur peut en outre choisir les graphiques et les tableaux qu'il désire intégrer à la plateforme en sélectionnant les variables qu'il désire comparer.

Suivi des entrevues

Cette section du tableau de bord illustrée partiellement à la Figure 145 comporte les unités suivantes :

- Taux de complétion des entrevues
- Entrevues débutées et complétées par jour
- Distribution des durées d'entrevue
- Entrevues débutées et complétées par heure de la journée
- Taux de complétion des sections du questionnaire
- Distribution des navigateurs et des plateformes utilisées

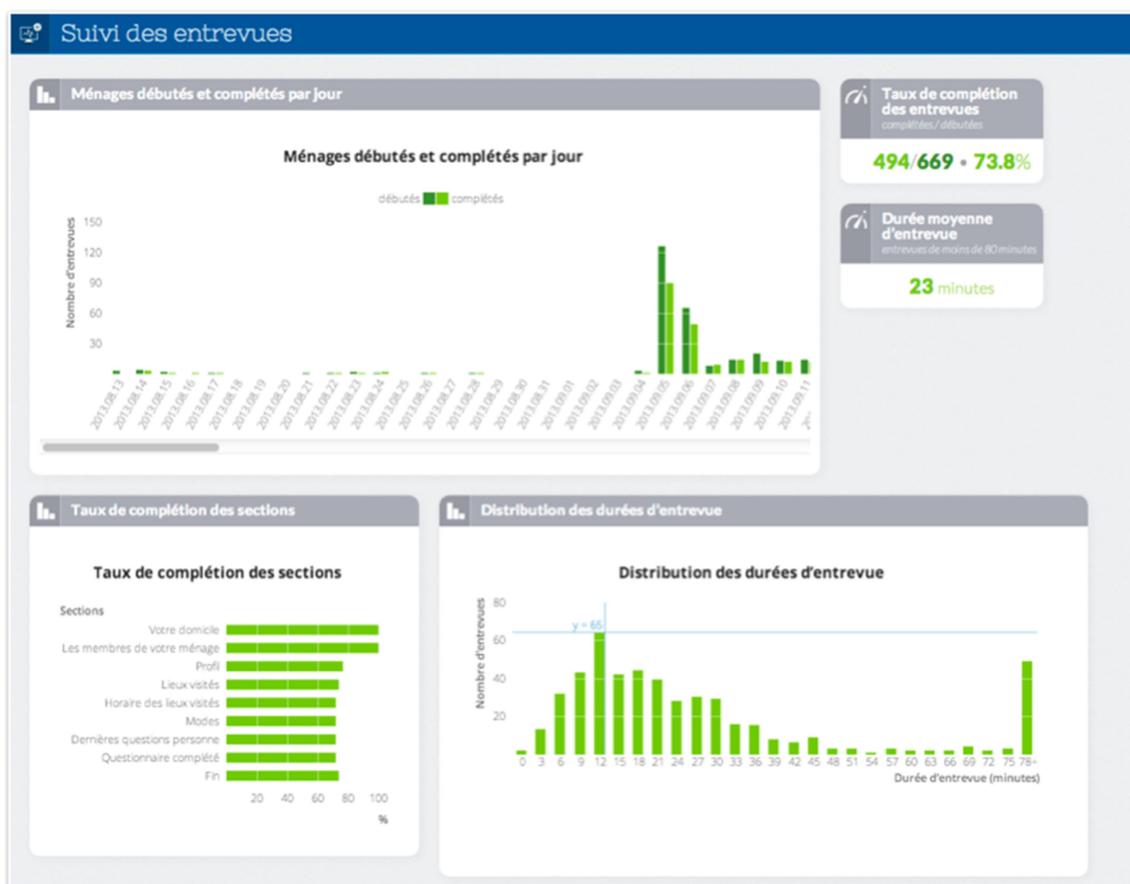


Figure 145 Tableau de bord • Suivi des entrevues

Observation et validation des entrevues

Cette section du tableau de bord illustrée partiellement à la Figure 146 comporte les unités suivantes :

- Liste des entrevues à vérifier
- Sommaire des entrevues
- Sommaire des déplacements
- Observations et validations manuelles

Avant l’affichage leur intégration dans cette section du tableau de bord, les entrevues font l’objet de certaines validation automatisées dont les principales sont les suivantes :

- Cohérence et validité des heures de départ et d’arrivée des déplacements
- Conversion de lieux relatifs au transport collectif déclarés comme lieux d’activités en lieux de transfert
- Présence au domicile au début et à la fin de la journée
- Plages possibles du temps de déplacement selon le mode et la distance à vol d’oiseau, etc.

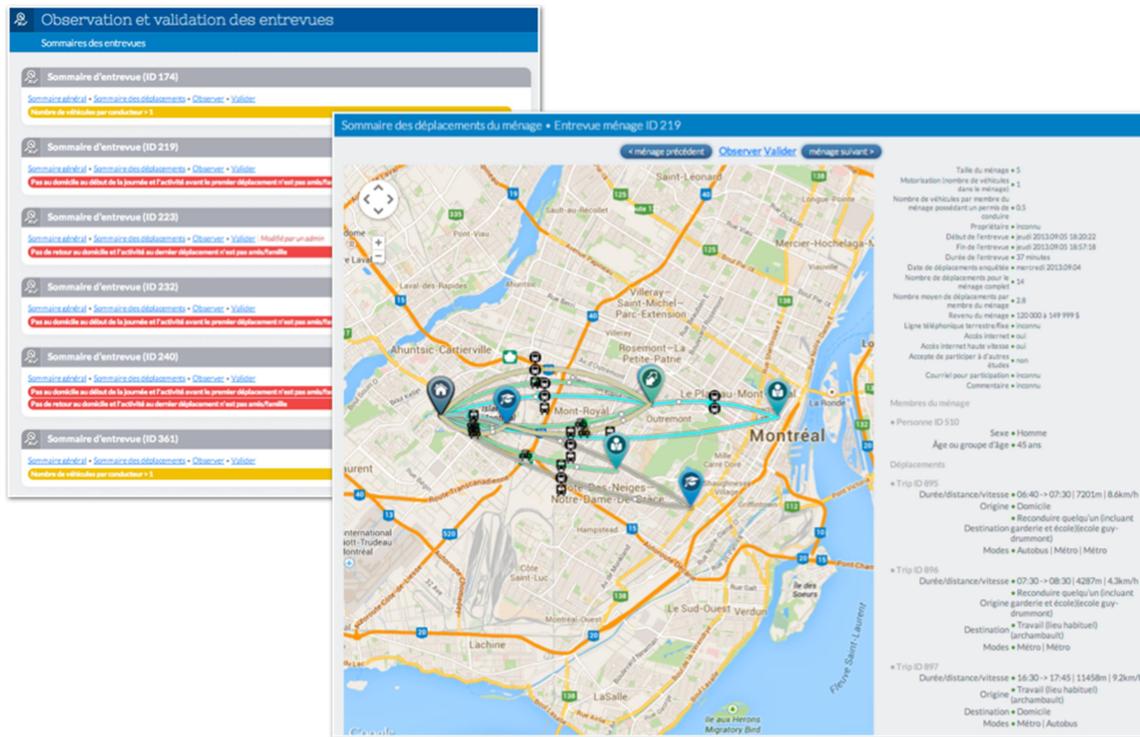


Figure 146 : Tableau de bord • Liste des entrevues problématiques et sommaire des déplacements d’un ménage

Échantillons ménages, personnes et déplacements

Cette section du tableau de bord comprend des indicateurs statistiques et des histogrammes de fréquences relatifs à trois types d’objets : les ménages, les personnes et les déplacements.

Ménages

Cette section (Figure 147) comprend plusieurs distributions, notamment :

- Distribution des tailles de ménage
- Distribution de la motorisation
- Distribution des revenus des ménages
- Distribution de l’accès internet, etc.

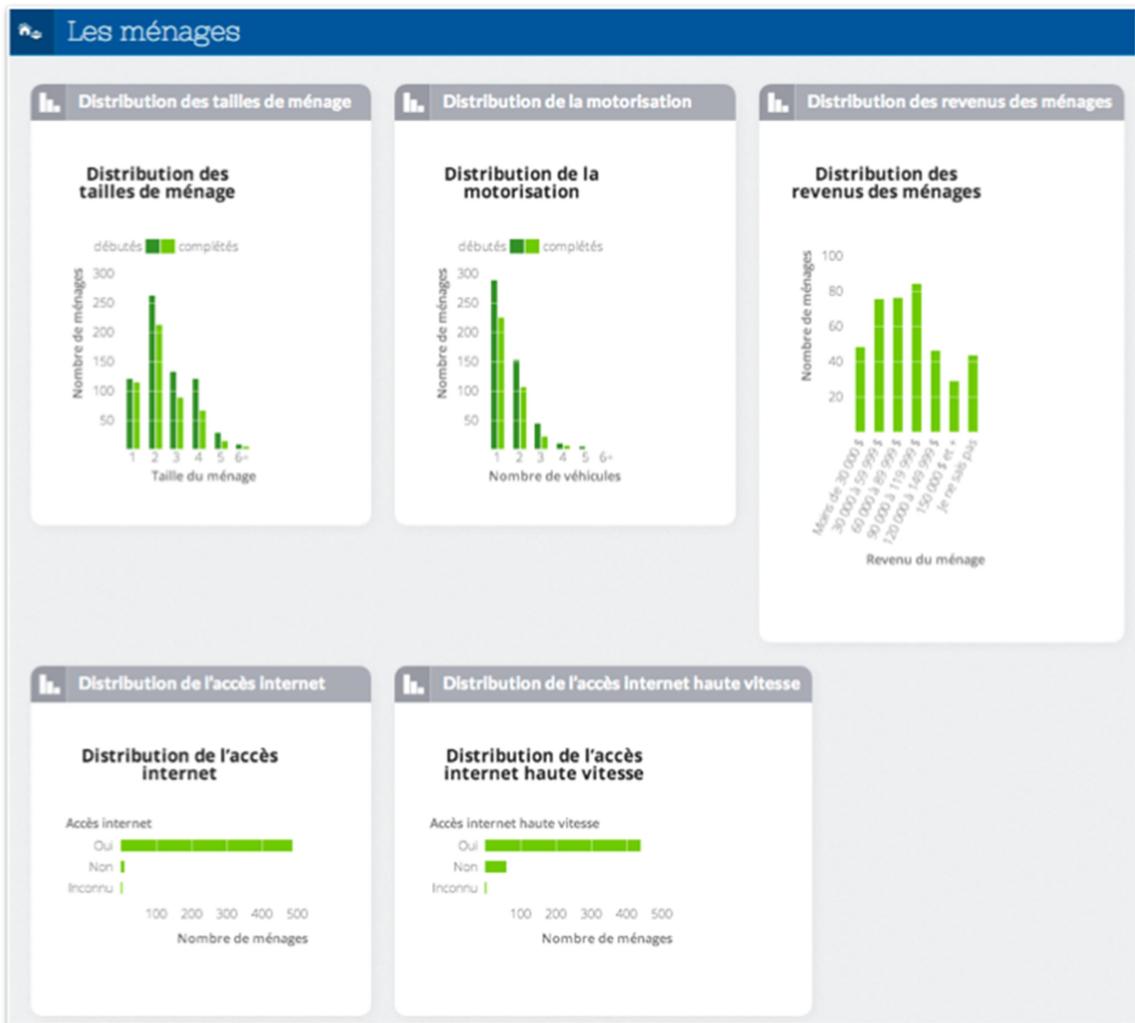


Figure 147 : Tableau de bord • Entrevues ménages

Personnes

Cette section (Figure 148) comprend plusieurs distributions, notamment :

- Distribution des âges
- Distribution des sexes
- Distribution des occupations
- Distribution des permis de conduire, etc.

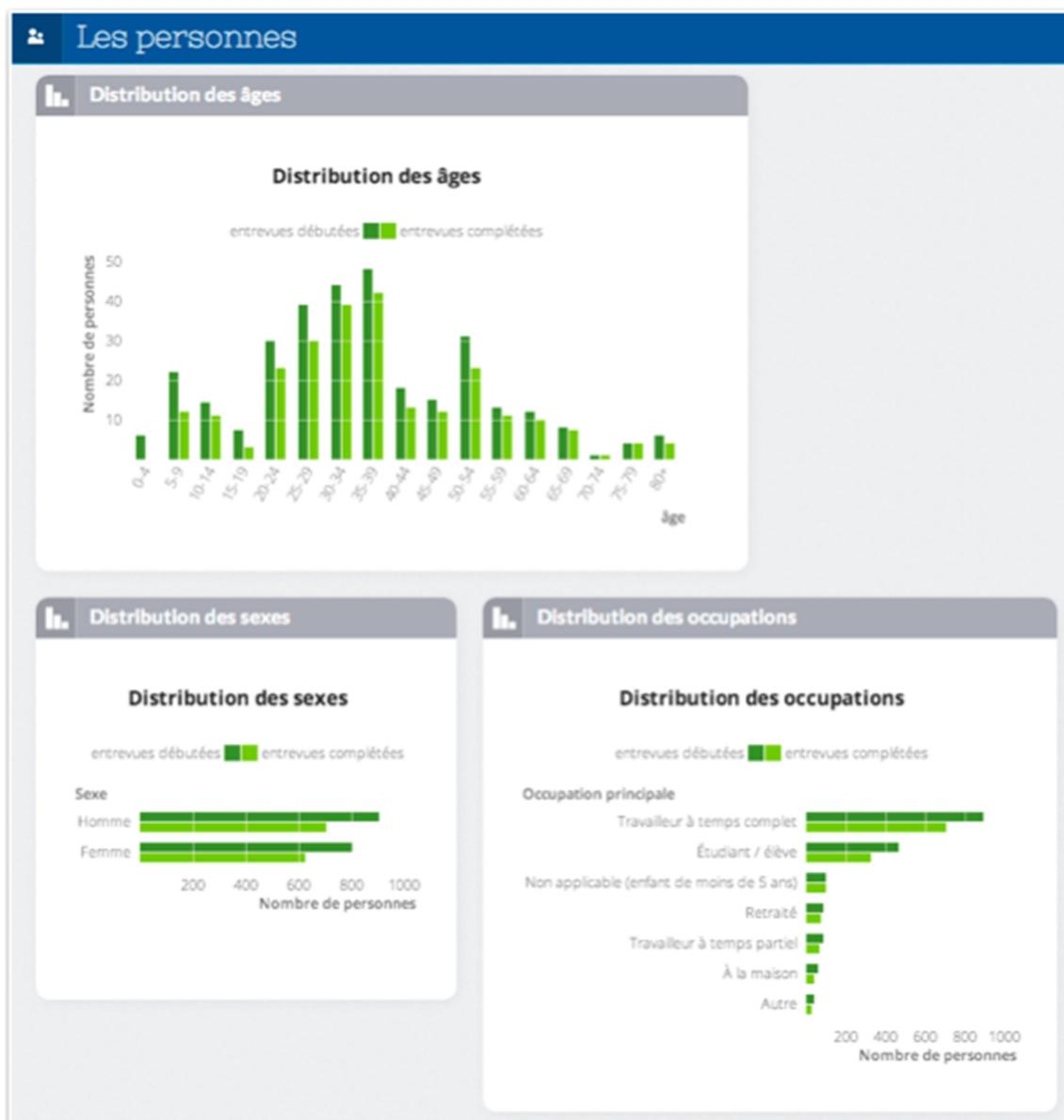


Figure 148 : Tableau de bord • Entrevues personnes

Déplacements

Cette section (développement en cours) comprendra plusieurs distributions, notamment :

- Distribution des distances de déplacement
- Distribution des activités (motifs de déplacement)
- Distribution des modes utilisés
- Distribution des types de covoiturage (déplacements auto-passager)
- Distribution des types de stationnement (déplacements auto-conducteur), etc.

Graphiques dynamiques

Chacun des modules du tableau de bord bénéficiera d'un graphique dynamique (Figure 149) permettant, à la manière d'un outil d'informatique décisionnelle (*Business Intelligence, BI*), d'insérer sur chaque axe les variables désirées et de choisir le type de graphique. À chaque modification, le graphique se mettra automatiquement en jour et avertira l'utilisateur lorsque la taille de l'échantillon obtenu est trop faible pour qu'on puisse en tirer des analyses statistiques.

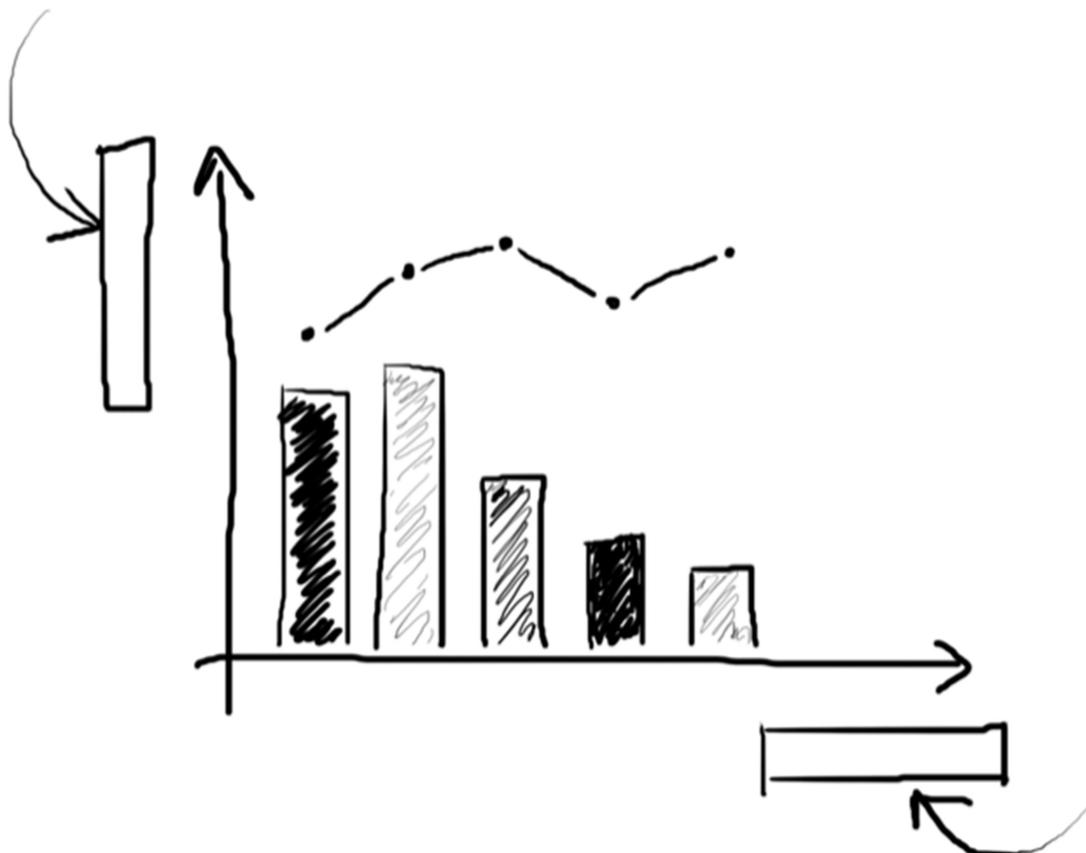


Figure 149 : Graphique dynamique

Enrichissement des données

Le module d'enrichissement des données, en cours de développement, comprendra entre autre les unités suivantes:

- Pondération
- Fusion des données recueillies avec d'autres modes d'enquête
- Importation d'entités géographiques et de découpages territoriaux
- Intégration de données de voisinage
- Automatisation de l'insémination des ménages grâce au rôle foncier
- Calcul de chemin multimodal

Entrepôt de données

L'entrepôt de données est une base de données dont les fonctions principales sont d'ordonner les données provenant de multiples sources opérationnelles, d'en conserver un historique et de les

convertir vers un format faisant l'objet de consensus. Les objectifs de sa mise en place sont d'une part d'assurer la pérennité des données et d'autre part de simplifier et d'améliorer les performances des requêtes et des analyses sous-jacentes. Plus particulièrement, ce projet de recherche propose la création d'un entrepôt appliqué aux données de mobilité.

Caractéristiques de l'entrepôt de données de mobilité

- Intégration de multiples enquêtes et enrichissement des données
- Optimisation et pré-calcul des variables pertinentes pour les analyses courantes sur la mobilité
- Intersection automatique avec les entités géographiques et les découpages territoriaux concernés
- Création d'une table permettant de connaître la position et les caractéristiques ponctuelles de chaque objet (personnes ou véhicules) durant la journée

Avantages particuliers de l'entrepôt de données de mobilité

- Facilite les comparaisons entre enquêtes
- Permet la création dynamique de graphiques et de tableaux

Exemples de nouvelles variables et indicateurs pré-calculés permettant une analyse plus souple et plus efficace

Table de personnes

- Facteurs d'expansion multiples permettant des analyses spécifiques
- Qui a répondu à l'entrevue ? (répondant ou proxy)
- Âge et groupe d'âge du premier permis de conduire
- Âge et groupe d'âge du premier emploi à temps plein
- Type de lieu de travail habituel (à la maison, sur la route)
- Liste des abonnements de transport collectif
- Liste des abonnements de vélopartage
- Liste des abonnements d'autopartage
- Liste des abonnements de covoiturage
- Revenu personnel
- Liste des outils technologiques possédés (cellulaire, téléphone intelligent, ordinateur portable, tablette, etc.)
- Lieu habituel de travail et ses caractéristiques (nom, localisation, nombre d'employés, type, etc.)
- Lieu habituel d'études et ses caractéristiques (nom, localisation, nombre d'étudiants, type, niveaux, etc.)
- Raisons si aucun déplacement, aucun déplacement travail et/ou aucun déplacement étude
- Niveau de scolarité (dernier diplôme obtenu)
- Âge et groupe d'âge d'obtention du dernier diplôme
- Distances à vol d'oiseau et réseau entre le domicile et le lieu habituel de travail ou d'étude
- Nombre et type de véhicules possédés
- Nombre et type de véhicules auxquels la personne a accès
- Distance totale parcourue (vol d'oiseau et réseau calculé)

- Distance totale parcourue à la marche et sous différents modes (vol d'oiseau et réseau calculé)
- Distance moyenne des déplacements (vol d'oiseau et réseau calculé)
- Durée totale des déplacements (déclarée et calculée)
- Durée moyenne des déplacements (déclarée et calculée)
- Désir de participer à des études sur la mobilité
- Autres caractéristiques propres à l'analyse ou à l'enquête

Table de personnes

- Facteurs d'expansion multiples permettant des analyses spécifiques
- Durée du déplacement (déclarée et calculée)
- Caractéristiques des modes utilisés (segments)
- Caractéristiques de la chaîne de déplacements
- Lieu d'origine et caractéristiques (nom, localisation, type, générateur, etc.)
- Lieu de destination et caractéristiques (nom, localisation, type, générateur, etc.)
- Partenaires de déplacements (qui était avec la personne ?)
- Véhicule(s) utilisé(s) et type(s)
- Taux d'occupation du ou des véhicule(s)
- Type de covoiturage et caractéristiques du ou des conducteur(s)
- Distances à vol d'oiseau et réseau
- Distances à vol d'oiseau et réseau de chaque segment (associé à chaque mode distinct)
- Étendue de la durée de déplacement possible selon données historiques de congestion
- Vitesse moyenne de déplacement (déclarée et calculée)
- Tortuosité (comparaison trajet vol d'oiseau et réseau)
- Itinéraire calculé selon différents modes (auto, transport collectif, vélo, marche, P+R, V+R)
- Ratios des temps et distances de parcours selon itinéraires des différents modes vs mode(s) déclaré(s)
- Géométrie des itinéraires (déclarés et/ou calculés)
- Découpages territoriaux et entités géographiques relatifs à l'origine
- Découpages territoriaux et entités géographiques relatifs à la destination
- Découpages territoriaux et entités géographiques traversés
- Temps et distances d'accès à pied à l'origine et à destination (transport collectif)
- Temps et distances de transfert à pied (transport collectif)
- Autres caractéristiques propres à l'analyse ou à l'enquête

Outil de visualisation

L'outil de visualisation comprend d'abord un module de génération des faits saillants qui résume les résultats tant sur le plan socio-démographique que sur le plan de la mobilité. Le second module permet de générer automatiquement des cartes animées de déplacements à partir des données obtenues au moyen des entrevues. Des paramètres fournissent le moyen de modifier les attributs des trajets animés (couleur, longueur des traces, étendue de la carte, etc.). Des **exemples de cartes animées générées par l'outil de visualisation** sont disponibles aux adresses suivantes :

http://www.youtube.com/watch?v=X_ZPtR1b4_k&hd=1
<http://www.youtube.com/watch?v=C0vgajilsI4&hd=1>
http://www.youtube.com/watch?v=Fk_ObOxIwKk&hd=1-t=16

Un nouveau module permet de générer des cartes à cellules animées. Elles illustrent la distribution des objets (personnes ou véhicules) dans l'espace et le temps par des cylindres ou des prismes rectangulaires dont la taille et/ou la couleur changent en fonction du nombre d'objets présents dans la cellule au cours d'une journée.

4.6 Enquêtes web réalisées avec l'outil intégré

Polytechnique 2010

L'outil d'enquête en ligne a été développé pour la première fois en 2010 au moyen des technologies web de pointe et bénéficie notamment du potentiel des cartes en ligne pour le géocodage et le positionnement des lieux d'origine et de destination des déplacements enquêtés. Le questionnaire a été élaboré en se basant en grande partie sur celui utilisé par l'AMT (Agence métropolitaine de transport) dans le cadre des enquêtes téléphoniques Origine-Destination de la grande région de Montréal. Ce choix assurait une meilleure compatibilité des données pour des fins de recherche et permettait du même coup aux différents intervenants du projet de se familiariser avec les enquêtes conventionnelles sur la mobilité. Par contre, à l'opposé de l'enquête régionale de l'AMT lors de laquelle le répondant doit répondre pour tous les membres de son ménage (entrevue de type ménage), l'entrevue web préparée pour Polytechnique était individuelle (entrevue de type personne).

Trois-Rivières 2011

En conséquence de la disparition accélérée des lignes téléphoniques résidentielles fixes notamment au sein des jeunes ménages au profit de la téléphonie cellulaire depuis quelques années, le ministère des Transports a proposé d'évaluer un recrutement à partir d'un annuaire commercial de numéros cellulaires et d'offrir aux ménages rejoints de cette façon de répondre à l'enquête régionale exclusivement par le mode web, le tout dans une optique expérimentale. Pour ce faire, les personnes, jointes par cellulaire, ayant accepté de participer, faisaient connaître leur adresse courriel ; on leur envoyait par la suite un courriel décrivant les objectifs de l'enquête et les procédures de connexion au site web sur lequel était hébergé le prototype. D'autre part, un lot de 1000 personnes, tiré de l'échantillon choisi pour l'enquête régionale conventionnelle téléphonique a été attribué au mode web. Les personnes étaient alors contactées par la poste.

Polytechnique et Université de Montréal 2011

Après le succès de 2010 à Polytechnique, l'Université de Montréal a émis le souhait de faire participer l'ensemble de sa communauté à une enquête de mobilité en 2011 afin d'élaborer son plan de transport. Dans le but d'amasser des données sur le plus grand nombre possible d'étudiants et d'employés de l'ensemble du campus universitaire, Polytechnique a reconduit son enquête pour une deuxième année consécutive. Lors de cette enquête conjointe, une grande quantité de données ont été amassées et analysées. Des commentaires sur l'interface et le questionnaire ont été colligés afin d'encourager l'amélioration de l'outil dans ses versions subséquentes.

Québec 2011

Afin de tester pour une première fois l'outil de collecte avec une entrevue de type ménage, le ministère des Transports a sélectionné un sous-échantillon de l'enquête Origine-Destination de la région de Québec. Pour l'occasion, environ 750 ménages ont été contactés par la poste pour participer à l'étude.

AMT 2012

L'Agence métropolitaine de transport a désiré vérifier la faisabilité d'utiliser une version en ligne de l'enquête Origine-Destination de 2013 pour la grande région de Montréal en effectuant un test préalable à l'automne 2012. Un échantillon postal de 2000 ménages a été sélectionné pour évaluer l'outil dans le contexte montréalais.

Sherbrooke 2012-2013

Pour faire face à la sous-représentation du milieu étudiant dans l'enquête régionale de Sherbrooke, le ministère des Transports a mandaté l'équipe de Polytechnique pour réaliser une version en ligne avec entrevue de type personne pour rejoindre les étudiants de la région par l'intermédiaire des institutions d'enseignement. Les données de cette version web de l'enquête ont été fusionnées à celles recueillies par téléphone de manière conventionnelle auprès des ménages de la région de Sherbrooke.

AMT 2013

Après analyse des données obtenues à la suite du test effectué en 2012, l'AMT a décidé d'inclure une version web dans son enquête régionale de 2013.

BIXI et Communauto 2013

En parallèle de l'enquête régionale de l'AMT, un questionnaire web a été proposé aux membres du service de vélopartage BIXI et d'autopartage Communauto. Cet exercice a permis d'obtenir des données qui rendront possibles les comparaisons avec la population générale visée par l'enquête régionale.

4.7 Contributions principales

La normalisation des bases de données en transport et l'intégration des phases de collecte, d'analyse et de visualisation de données de mobilité au sein d'un même outil sont inévitables dans un contexte d'accumulation effrénée de données de tout acabit. De plus, le design achevé et peaufiné des questionnaires d'enquêtes influence considérablement la qualité des données. L'ajout de modules d'analyse en temps réel assure aux administrateurs un meilleur contrôle et permet aux analystes de produire des faits saillants favorisant la comparabilité des données d'une enquête à l'autre. Par ailleurs, les outils de visualisation innovateurs comme des cartes animées de déplacements sont à la fine pointe de la technologie et permettront bientôt de créer des modèles avancés élaborés à partir de données réelles mieux adaptées aux réalités auxquelles doivent faire face les utilisateurs des réseaux de transport. Enfin, l'automatisation de nombreuses étapes du suivi, de l'enrichissement et de la visualisation des données de mobilité constitue probablement le bénéfice le plus important en ce sens que le traitement des données sera considérablement simplifié et pourra être accéléré de manière appréciable dans la majorité des cas.

4.8 Outils connexes actuellement en développement

- Calculateur de trajets de transport collectif
- Intégration du calculateur de trajets *Open Source Routing Machine* (Luxen, 2014) dans le but, à terme de construire un calculateur de trajets multimodal
- Outil de génération de cartes d'accessibilité (polygone représentant l'ensemble des destinations accessibles à partir d'un lieu d'origine pour différentes périodes au moyen de différents modes)

5 Références

- Ahn, K., N. Kronprasert, and H. Rakha (2009). Energy and Environmental Assessment of High-Speed Roundabouts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009. 2123(-1): p. 54-65.
- Axhausen, K. W., Polak, J. W. (1991). Choice of parking: stated preference approach. *Transportation*, 18(1), 59–81.
- Bachman, W., et al. (2000). Modeling Regional Mobile Source Emissions in a Geographic Information System Framework. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2000. 8(1-6): p. 205-229
- Badoe, D. and Steuart, G. (2002). Impact of interviewing by proxy in travel survey conducted by telephone. *Journal of Advanced Transportation*.
- Bose, J. and Giesbrecht L. (2004). Patterns of proxy usage in the 2001 National Household Travel Survey ASA Section on Survey Research Methods, Bureau of Transportation Statistics, 7p.
- Bussière, Y. (1992). «Forecasting Travel Demand from Age Structure, Urban Sprawl, and Behavior : the Montreal Case, 1986-2011», Communication à la 6e conférence sur la recherche dans les transports, Lyon.
- Camirand, H., & Dumitru, V. (2008, mai). L'activité physique chez les adultes québécois en 2005. *Zoom Santé*. Consulté à l'adresse <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/sante/bulletins/zoom-sante-200805.pdf>
- Carr, J.L., et al. (2010) A guidebook for corridor-based statewide transportation planning. 2010: Transportation Research Board.
- Carrel A., Halvorsen A., Walker J.L. Passengers' Perception of and Behavioral Adaptation to Unreliability in Public Transportation. 92ème forum annuel TRB, Whashington, U.S.A., 2013.
- CDM (2012) Project design document, in BRT Bogotá, Colombia: TransMilenio Phase II to IV2012.
- Chapleau, R. (2003). International Conference on Transport Survey Quality and Innovation: Measuring internal quality of a CATI travel survey. Boston 23p.
- Cirillo, C., & Axhausen, K. W. (2002). Mode choice of complex tours: A panel analysis. Paper presented at the European Transport Conference 2002, Cambridge, Angleterre.
- CMM (2009). Étude sur le potentiel de développement urbain d'un corridor de transport collectif renforcé dans l'axe du pont Champlain et dans l'axe du boulevard Taschereau, http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/documents/20090318_axeChamplainTaschereau_final.pdf

- Coelho, M.C., T.L. Farias, and N.M. Rouphail, (2006). Effect of roundabout operations on pollutant emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2006. 11(5): p. 333-343.
- Cropper et Gordon (1991). Wasteful Commuting : A Re-examination, *Journal of Urban Economics*, 29, pp 2-13.
- Diallo, A. (2012). Méthodologie d'analyse des stationnements. (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC).
- Giesbrecht L. (2005). Planning for the Next National Household Travel Survey, Part 2, Long-Distance Trips. Data for Understanding Our Nation's Travel National Household Travel Survey Conference Transportation research circular E-C071, TRB, 5p.
- Giuliano, Genevieve and K. Small (1992), Subcenters in the Los Angeles Region, *Journal of Regional Science and Urban Economics*, 21, pp 163-182
- Hamilton, B, W (1982), Wasteful Commuting, *Journal of Political Economy*, 90 :5, pp 1035-1053
- Hamilton, B, W (1989), Wasteful Commuting Again, *Journal of Political Economy*, 97 (6) pp 1497-1504
- Hansen W.G. «How Accessibility Shapes Land Use.» *Journal of the American Institute of Planners*, 1959: Vol. 25 pp.73-76.
- Hatzopoulou, M., E.J. Miller, Santos,B. (2007). Integrating vehicle emission modeling with activity-based travel demand modeling: case study of the Greater Toronto, Canada, Area. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007. 2011(1): p. 29-39.
- Jann, B. (2008). The Blinder–Oaxaca decomposition for linear regression models. *The Stata Journal* Volume 8, Number 4, pp.453–479
- Kaparias L., Bell M.G. Key Performance Indicators for traffic management and Intelligent Transport Systems. Imperial College London, 2011.
- Krakutovski, Z. (2004). Améliorations de l’approche démographique pour la prévision à long terme de la mobilité urbaine, Thèse Université Paris, Paris, France
- 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.
- Leermakers, E. A., Dunn, A. L., & Blair, S. N. (2000). Exercise management of obesity. *Medical Clinics of North America*, 84(2), 419-440.
- Liss, S. (2005). Planning for the Next National Household Travel Survey, Part 1, Daily trips. Data for Understanding Our Nation's Travel National Household Travel Survey Conference Transportation research circular E-C071, TRB, 5p.
- Litman, T. (2008). Well Measured. Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning. Victoria transport policy institute, <http://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>

- Luxen, D. & Vetter, C. (2011) Open Source Routing Machine (OSRM). Real-time routing with OpenStreetMap data. <https://github.com/DennisOSRM/Project-OSRM/wiki>
- Mandavilli, S., M.J. Rys, and E.R. Russell (2008). Environmental impact of modern roundabouts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008. 38(2): p. 135-142.
- Marsden, G. (2006). The evidence base for parking policies—a review. *Transport Policy*, 13, 447-457.
- Martel-Poliquin, E. (2012). Mieux comprendre les déterminants du choix modal (mémoire de maîtrise inédit). École Polytechnique de Montréal.
- Mill (1967). An aggressive Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area, *American Economic Review, Papers and Proc.* 57, pp.197-210.
- Mill (1972). *Studies in the Structure of the Urban Economy*. Baltimore : Johns Hopkins University Press.
- Morency, C. Chapleau, R. (2008). «Age and its relation with home location, household structure and travel behaviors: 15 years of observation», 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Morency, C., Saubion, B., Trépanier., M. (2006). Evaluating the Use of Parking Spaces in Strategic Urban Areas Using Travel Survey Data. Communication présentée à 53rd Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, Toronto, On, Canada.
- Murshed, D. (2010). Estimating Greenhouse Gases from Roadway Transportation-Methodology Overview. 2010. Kunming, China: ASCE.
- Muth, Richard F. (1969), *Cities and Housing : The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*. Chicago : University of Chicago Press
- Nagurney A., Qiang Q. Dans *Fragile Networks: Identifying Vulnerabilities and Synergies in an Uncertain World*. John Wiley & Sons, 2009.
- New York City Department of Transportation (2013). Parking Regulations. Consulté le 29 Novembre 2013, tiré de <http://a841-dotvweb01.nyc.gov/ParkingRegs/ViewController/LocationValidation.aspx>.
- Nicolas, Jean-Pierre, Pochet, Pascal, Poimboeuf, Hélène, Ovtracht, Nicolas (2001). Indicateurs de mobilité durable : application à l'agglomération de Lyon. Recherche Let-Apdd initiée dans le cadre d'un financement Renault. Lyon : LET. 2001. 127 p. (Etudes et Recherches, n°16). <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00098263/fr/>
- Nicolas, Jean-Pierre, Pochet, Pascal, Poimboeuf, Hélène. (2002) Mobilité urbaine et développement durable : quels outils de mesure pour quels enjeux ?. *Cahiers Scientifiques du Transport*. 2002. n°41. pp.53-75. <http://www.afil.com/CST/precedents-numeros/N41/NIPOPO41.pdf>.
- Oaxaca, R. (1973). Male-female wage differentials in urban labor markets. *International economic review*, Volume 14, Issue 3. P693-706

- Ortúzar, J. d. D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modal Split and Direct Demand Models Modelling Transport* (pp. 207-225): John Wiley & Sons, Ltd.
- Pépin, F. (2012). *Mobilité quotidienne des enfants : déterminants, caractéristiques et évolution* Maîtrise, Polytechnique de Montréal, Montréal
- Perk V., Jennifer Flynn, Joel Volinski. *Transit Ridership, Reliability, and Retention*. University of South Florida: National Center For Transit Research, 2008.
- Pochet, P. et Corget, R. (2010). Entre “automobilité”, proximité et sédentarité, quels modèles de mobilité quotidienne pour les résidents âgés du périurbain ?, *Espace Populations Sociétés*, n°1, pp. 69-81
- Primerano, F., Taylor, M. A. P., Pitaksringkarn, L., & Tisato, P. (2008). *Defining and Understanding Trip Chaining Behaviour*. *Transportation: Planning, Policy, Research, Practice*, 35(1), pp 55-72.
- Reiss, R., et al. (2006). *Integrated Corridor Management Phase I concept Development and Foundational Research: Task 3.1 Develop Alternative Definitions*, in FHWA-JPO-06-034, D. Engineering, S. ITS, and S.A.I. Corporation, Editors. 2006, United States Department of Transportation: Washington D.C.
- Richardson, A.J. (2005). *Proxy Responses in Self-Completion Travel Dairy Surveys*. The urban transport institute for reliable urban transport information. TUTI Report 53-2005. 13p.
- San Francisco Municipal Transportation Agency (2013). *SFpark*. Consulté le 26 Novembre 2013, tiré de <http://sfpark.org>.
- Schipper, L., M. Cordeiro, and W. Ng. (2007) *Measuring the carbon dioxide impacts of urban transport projects in developing countries*. in *Proceedings of the Transportation Research Board Conference*. Washington, DC. USA. 2007.
- Schipper, L., Marie, C. (1999) *Transport and CO2 Emissions*. World Bank, Washington, DC www.cleanairnet.org/lac_en/1415/article-41318.html, 1999.
- Seo, Y. W., Urmson, C. (2011). *Utilizing prior information to enhance self-supervised aerial image analysis for extracting parking lot structures*. Communication présentée à The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, St. Louis, MO, USA.
- Seyoung KJm, SK (1993), *After the Resolution: Excess Commuting for Two-Worker Households in the Los Angeles Metropolitan Area*, Department of Economics and Institute of Transportation Studies University of Berkley 1993
- Shiftan, Y. (2000). *The Advantage of Activity-based Modelling for Air-quality Purposes: Theory vs Practice and Future Needs*. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 2000. 13(1): p. 95-110.
- Shoup, D. C. (1997). *Evaluating the effects of cashing out employer-paid parking: Eight case studies*. *Transport Policy*, 4(4), 201-216.
- Shoup, D. C. (1999). *The trouble with minimum parking requirements*. *Transportation Research Part A*, 33, 549-574.

- Sioui L., Morency C. «How equitable is access to transportation options?» s.d.
- Sioui, L. (2007), Portrait du covoiturage collectif dans la grande région de Montréal à partir de l'enquête Origine-Destination, Projet de fin d'études, [Consulté le 9 Juin 2014]. Disponible : www.polymtl.ca/durable/doc/PFE_LSioui_Covoiturage.pdf, Polytechnique Montréal
- Slinn, M. (2005). Parking Surveys. Dans M. Slinn (Édit.), Traffic engineering design : principes and practice (p. 28-37). Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Small et Song's (1992). Small, Kenneth A. and S. Song (1992), Wastful Commuting : An alternative approach, Journal of Political Economy, 100 (4) pp 888-898
- Steenberghen, T, Toint, P, Zuallaert, J. (2005), Déterminants des choix modaux dans les chaînes de déplacements. Politique scientifique fédérale, 15 pages.
- Stopher, P.R., Wilmot, C. G., Stecher, C., Alsnih, R. (2003). Standards for household travel survey – some proposed ideas. 10th Triennial Conference of the International Association for Travel Behaviour Research, 24p
- Straatemeier T. «How to plan for regional accessibility ?» Transport Policy, 2008: Vol. 15 pp.127-137.
- Taylor M.A.P., D'Este G.M. «Transport Network Vulnerability: a Method for Diagnosis of Critical Locations in Transport Infrastructure Systems.» Dans Critical Infrastructure: Reliability and Vulnerability, pp. 9-30. 2007.
- TRB (2008). Sustainable Transportation Indicators : A Recommended Program To Define A Standard Set of Indicators For Sustainable Transportation Planning, Transportation Research
- Turnquist M., Blume S. «Evaluating potential effectiveness of headway control strategies for transit systems.» Transportation Research Record , 1980: 746 pp.25–29.
- UITP (2007). Façonner demain dès aujourd'hui: La place donnée au développement durable dans le secteur du transport public 2005-7, Charte UITP du développement durable.
- Valiquette, F. (2010). Typologie des chaînes de déplacements et modélisation descriptive des systèmes d'activités des personnes. (M.Sc.A Mémoire), École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada.
- Várhelyi, A., (2002). The effects of small roundabouts on emissions and fuel consumption: a case study. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2002. 7(1): p. 65-71.
- Virginia Department of Transportation (2009). Implementing activity-based models in Virginia VTM Research Paper (Vol. 09, pp. 01-29).
- Vuillemin, A. (2011). Le point sur les recommandations de santé publique en matière d'activité physique. Science & Sports, 26(4), 183-190.
- Wang, H., et al., (2009). A bottom-up methodology to estimate vehicle emissions for the Beijing urban area. Science of The Total Environment, 2009. 407(6): p. 1947-1953.

- White (1988). White, Michelle J. (1988), Urban Commuting Journeys are not Wasteful, *Journal of Political Economy*, 96 (5) pp 1097-1110
- Ye, X., Pendyala, R. M., & Gottardi, G. (2007). An exploration of the relationship between mode choice and complexity of trip chaining patterns. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(1), 96-113. doi: 10.1016/j.trb.2006.03.004
- Yun, M., Liu, J., & Yang, X. (2011). Modeling on Mode Choice Behavior Based on Trip Chaining: A Case Study in Zhongshan City. Paper presented at the 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP), USA.
- Zhang, Y., et al., Assessing Effect of Traffic Signal Control Strategies on Vehicle Emissions. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2009. 9(1): p. 150-155.
- Zimowski, M., Tourangeau, R., Ghadialy, R., Pedlow, S. (1997). Nonresponse in household travel survey. Federal Highway Administration, Chicago, 188p.



mobilité

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)

Transports
Québec 


AGENCE MÉTROPOLITAINE
DE TRANSPORT

 **stm**

Montréal 