

**Titre:** Mieux comprendre les déterminants du choix modal  
Title:

**Auteur:** Éric Martel Poliquin  
Author:

**Date:** 2012

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Martel Poliquin, É. (2012). Mieux comprendre les déterminants du choix modal  
[Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.  
Citation: <https://publications.polymtl.ca/904/>

## Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/904/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Catherine Morency, & Bruno Agard  
Advisors:

**Programme:** Génie civil  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MIEUX COMPRENDRE LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

ÉRIC MARTEL POLIQUIN

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE CIVIL)  
AOÛT 2012

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

MIEUX COMPRENDRE LES DÉTERMINANTS DU CHOIX MODAL

Présenté par : MARTEL POLIQUIN Éric

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. TRÉPANIER Martin, Ph. D., président

Mme MORENCY Catherine, Ph. D., membre et directeur de recherche

M. AGARD Bruno, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

Mme ST-PIERRE Brigitte, M. Sc. A., membre

## DÉDICACE

« *If you don't know where you are going, any road will take you there.* » -Lewis Carroll

*Hommage à ma grand-mère qui nous a quittés aux alentours du chapitre 4...*

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les quatre partenaires financiers de la chaire MOBILITÉ pour m'avoir permis de réaliser ce projet de maîtrise. Sans ce soutien financier du milieu de planification des transports à Montréal, il serait difficile de former autant de relève dans le domaine des transports. Donc, en ordre alphabétique, merci à l'Agence métropolitaine de transport, au ministère des Transports du Québec, à la Société de transport de Montréal et à la Ville de Montréal.

Je tiens également à remercier plus personnellement M. Pierre Tremblay du ministère des Transports du Québec pour m'avoir donné les conditions nécessaires à ce que je termine ce projet. Merci pour sa compréhension et sa flexibilité.

Un merci très spécial à M. Bruno Gard pour tout le soutien académique qu'il m'a accordé au cours du projet et aussi pour son éternelle bonne humeur!

Finalement, je ne pourrais avoir accès complètement à travail sans le soutien de ma directrice Catherine Morency, une véritable inspiration à tous les niveaux. J'admire son énergie et sa persévérance!

## RÉSUMÉ

Le concept émergent de mobilité durable appelle à une profonde prise de conscience face aux choix individuels effectués dans le cadre de la mobilité quotidienne. Les modes de transport n'ayant pas tous les mêmes attributs et impacts inhérents, il devient nécessaire de mieux comprendre les déterminants qui peuvent expliquer les choix modaux des individus. Ces nouvelles préoccupations amènent également la nécessité de considérer l'ensemble des modes disponibles lors de l'analyse du choix modal.

En se basant principalement sur les données tirées de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 et sur les fichiers GTFS (General Transit Feed Specification) de la grande région de Montréal, treize variables ont été estimées et mises en corrélation avec le choix modal. De ce nombre, six avaient la particularité d'avoir été estimées de manière égocentrale, c'est-à-dire, au niveau du voisinage immédiat de chaque ménage. Ces dernières ont permis la création par fouille systématique des données, d'une typologie de ménage basée sur les caractéristiques urbanistiques de leur voisinage et d'observer les habitudes modales particulières de ceux-ci.

Les choix modaux de deux segments de population (travailleurs et étudiants) ont été modélisés par une méthode de fouille systématique des données en créant un arbre de décision établissant des règles d'attribution de modes selon les variables explicatives estimées. Ceci a notamment permis de hiérarchiser les variables estimées et de confirmer que l'instance parcourue était celle ayant le plus grand pouvoir explicatif.

Ceci a mené à l'exploration du concept de distance-seuil afin de quantifier les limites de compétitivité des modes selon la distance. Différents univers de choix modaux ont ensuite été établis en fonction de l'âge et du genre des personnes afin de décrire les différentes options de modes de transports disponibles selon la distance à parcourir.

Les distances-seuil ont aussi permis de déterminer la zone de compétitivité de la marche et de ce fait, le potentiel de la marche à Montréal a été calculé en transférant des déplacements motorisés plus courts que la zone de compétitivité de la marche vers le mode marche.

## ABSTRACT

The emergence of the sustainable mobility concept calls for a thorough reconsideration of our individual choices made in the context of our daily mobility. Transportation modes do not have the same impacts and properties and therefore, it becomes necessary to better understand the determinants associated with the individual choice of a mode of transportation. These new concerns also lead to the necessity of considering all transportation modes during the analysis of modal choices.

With the 2008 Montréal Origin-Destination Survey and the Greater Montréal Region GTFS files as main sources of data, thirteen variables have been estimated and correlated with modal choice. Of this number, six had the particularity of being estimated in a neighborhood manner, that is, at the level of the immediate neighbourhood of each household. The latter allowed for the creation, using data mining algorithms, of a households' typology based on built environment characteristics of their neighbourhood and to examine their modal habits.

The modal choices of two population segments (workers and students) have been modelled using a data mining algorithm by the creation of a decision tree establishing transportation modes attribution rules on the base of the previously estimated variables. This allowed for a hierarchization of the estimated variables and for a confirmation of distance as being the variable with the most explicative power.

This lead to the exploration of the threshold-distance concept as a means for quantifying the competitiveness limits between transportation modes, in relation with distance. Different modal choice universes have then been established according to individuals' sex and age in order to describe the different transportation mode options available depending on the distance to be travelled.

The threshold-distance concept also allowed for the determination of the competitiveness zone of walking, and thus, the potential of walking in Montréal has been evaluated by transferring motorized trips that are shorter than the competitiveness zone of walking into walking trips.

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT .....	VI
TABLE DES MATIÈRES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX .....	X
LISTE DES FIGURES .....	XII
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION.....	1
1.1    Mise en contexte .....	1
1.2    Objectifs du projet de recherche .....	3
1.3    Structure du document.....	4
CHAPITRE 2 - REVUE DE LITTÉRATURE.....	5
2.1    Choix modal et mobilité .....	5
2.2    Les variables influençant le choix modal .....	7
2.2.1    Variables de la personne.....	7
2.2.2    Variables du ménage .....	9
2.2.3    Variables du milieu bâti.....	10
2.2.4    Variables des déplacements.....	17
2.2.5    Autres variables .....	18
2.3    Choix modal et durabilité .....	20
2.3.1    Choix modal et environnement .....	20
2.3.2    Choix modal et société .....	25
2.3.3    Choix modal et économie .....	26
CHAPITRE 3 - PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE .....	28

3.1	Vers une considération de tous les modes .....	28
3.2	Vers une estimation de variables à l'échelle des voisinages .....	28
3.3	Vers une vision différente du coût de transport.....	29
3.4	Schéma global de la méthodologie .....	29
	CHAPITRE 4 - LE MARCHÉ ACTUEL DES MODES .....	31
4.1	Méthodologie d'estimation des variables .....	32
4.1.1	Sources de données.....	32
4.1.2	Variables extraites d'enquêtes.....	33
4.1.3	Variables construites .....	34
4.2	Observation des corrélations entre les variables estimées et le choix modal .....	44
4.2.1	Longueur du réseau routier.....	46
4.2.2	Passages-arrêts de transport en commun sur 24 heures.....	49
4.2.3	Densité d'emplois.....	52
4.2.4	Revenu du ménage et revenu disponible moyen .....	55
4.2.5	Sexe .....	60
4.2.6	Âge .....	60
4.2.7	Occupation principale.....	61
4.2.8	Accès à l'auto .....	62
4.2.9	Motif.....	64
4.2.10	Distance .....	65
4.2.11	Densité commerciale .....	66
4.2.12	Densité de population.....	69
4.3	Création d'une typologie de quartier basée sur les variables des voisinages .	72
4.3.1	Méthodologie de segmentation des ménages par types.....	73

4.3.2 Typologie de quartier basée sur les données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 .....	75
4.3.3 Habitudes modales de chacun des types de ménages .....	83
4.4 Modélisation du choix modal en utilisant des arbres de décision.....	85
4.4.1 Arbre de décision décrivant le choix modal des travailleurs.....	89
4.4.2 Arbre de décision décrivant le choix modal des étudiants .....	93
4.4.3 Arbre de décision et modélisation .....	96
CHAPITRE 5 - LE MARCHÉ POTENTIEL DES MODES .....	98
5.1 La distance comme variable-clé .....	98
5.2 Le concept de distance-seuil.....	99
5.3 Estimation du potentiel de la marche.....	102
5.3.1 Détermination des distances-seuils de la marche .....	103
5.3.2 Calcul du potentiel de la marche .....	105
5.3.3 Estimation des impacts .....	108
CHAPITRE 6 - CONCLUSION.....	113
6.1 Rappel des contributions.....	113
6.2 Limitations.....	114
6.2.1 Raffinement de l'estimation des distances .....	114
6.2.2 Développement d'autres variables du voisinage .....	115
6.2.3 Estimation des coûts généralisés .....	115
6.3 Perspectives .....	116
6.3.1 Analyse point à point.....	116
6.3.2 Dimension fractale.....	117
6.3.3 Modèles de régression .....	119
BIBLIOGRAPHIE .....	120

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Part modale des transports en commun en fonction des distances d'accès au domicile et au lieu de travail (MTC, 2006, tel que cité dans Litman, 2011) .....	14
Tableau 2 - Les 5 variables D de mesure de l'environnement bâti (Ewing & Cervero, 2010).....	15
Tableau 3 - Élasticités de diverses variables du milieu bâti en regard de l'utilisation de la marche (Ewing & Cervero, 2010).....	16
Tableau 4 - Élasticités de diverses variables du milieu bâti en regard de l'utilisation des transports collectifs (Ewing & Cervero, 2010) .....	16
Tableau 5 - Consommation énergétique de divers modes urbains selon la période de la journée (Potter, 2003, tel que cité dans Vuchic, 2007) .....	21
Tableau 6 - Espace occupé au sol par différents modes de transport pour transporter 15 000 personnes à l'heure (Vuchic, 2007) .....	22
Tableau 7 - Émissions directes de gaz à effet de serre pour divers modes de transport (Gagnon, 2006).....	24
Tableau 8 - Source et description des variables directement traitées de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 .....	33
Tableau 9- Source des données et description des variables construites .....	35
Tableau 10 - Définition des modes utilisés dans l'analyse de la répartition modale en fonction des variables étudiées .....	45
Tableau 11 - Illustration de la longueur du réseau routier des alentours de six domiciles (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008, Recensement de 2006) .....	47
Tableau 12 - Nombre d'observations dans chacun des groupes obtenus.....	77
Tableau 13 - Analyse de corrélation entre certaines variables ayant un impact sur le choix modal .....	86
Tableau 14 - Prédiction et matrice de confusion de l'arbre de décision expliquant le choix modal des travailleurs.....	90

Tableau 15 - Prédiction et matrice de confusion de l'arbre de décision expliquant le choix modal des étudiants .....	94
Tableau 16 - Nombre de pas nécessaires pour franchir 1 km selon l'âge et le sexe.....	104
Tableau 17 - Distances seuil pour la marche (D80) en fonction des segments de population.....	105
Tableau 18 - Proportion des déplacements non motorisés et des déplacements courts motorisés par segment de population (2008) .....	107
Tableau 19 - Distribution des pas en réserve en fonction du segment de population (2008) .....	109
Tableau 20 - Nombre de pas en réserve par âge et par sexe .....	110
Tableau 21 - Proportion de déplacements courts transférables par segment de population .....	110
Tableau 22 - Distribution des pas en réserve selon les modes (2008) .....	111
Tableau 23 - Émissions de GES causées par les déplacements courts motorisés .....	112

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Modèle d'interactions entre le comportement de mobilité et le milieu bâti (Wegener, 2004).....	6
Figure 2 - Relation entre choix modal, distance et flexibilité des modes (Britton, 1999) .....	18
Figure 3 - Schéma résumant les variables cernées .....	20
Figure 4 - Schéma global de la méthodologie d'analyse des déterminants du choix modal.....	30
Figure 5 - Catégories de variables ayant une influence sur le choix modal.....	31
Figure 6 - Position de l'étape de construction des variables dans le schéma méthodologique .....	32
Figure 7 - Calcul de la variable "Accès à l'automobile" .....	37
Figure 8 - Estimation de la variable " Densité de population" au niveau des alentours d'un domicile.....	38
Figure 9 - Estimation de la densité d'emplois au niveau du voisinage d'un ménage .....	39
Figure 10 - Estimation de la densité commerciale au niveau du voisinage d'un ménage.....	39
Figure 11 - Estimation de la longueur du réseau routier aux alentours des ménages .....	40
Figure 12 - Calcul de la matrice des parts modales du transport en commun entre des secteurs ..	41
Figure 13 - Estimation à l'échelle de chaque domicile du nombre de passages-arrêts.....	42
Figure 14 - Position de la section sur les corrélations des variables avec la part modale dans le schéma méthodologique global.....	44
Figure 15 - Distribution de la variable longueur du réseau routier dans le voisinage des ménages (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008, Recensement de 2006).....	46
Figure 16 - Dispersion spatiale de la longueur du réseau routier aux alentours des domiciles (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008, Recensement de 2006).....	48
Figure 17 - Répartition modale en fonction de la longueur du réseau routier .....	49
Figure 18 - Distribution du nombre de passages-arrêts aux alentours des ménages.....	50
Figure 19 - Distribution spatiale des passages-arrêts sur 24 h .....	51

Figure 20 - Répartition modale en fonction de la densité de passages-arrêts sur 24h .....	52
Figure 21 - Distribution des valeurs de destinations à motif travail dans le voisinage des ménages .....	53
Figure 22 - Distribution spatiale de la variable densité d'emplois .....	54
Figure 23 - Répartition modale en relation avec la variable densité d'emplois.....	55
Figure 24 - Distribution de la variable revenu des ménages .....	56
Figure 25 - Répartition modale en fonction de la variable revenu (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	56
Figure 26 - Distribution de la variable revenu disponible moyen.....	57
Figure 27 - Dispersion spatiale de la variable revenu (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008). ....	58
Figure 28 - Dispersion spatiale de la variable revenu disponible moyen, évaluée au niveau du voisinage (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .....	58
Figure 29 - Répartition modale en fonction de la variable revenu disponible moyen ( Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .....	59
Figure 30 – Répartition modale selon le sexe (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .60	
Figure 31 - Relation entre le choix modal et la cohorte d'âge (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	61
Figure 32 - Répartition modale pour différentes occupations principales ( Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	62
Figure 33 - Répartition modale en relation avec l'accès individuel à une automobile.....	64
Figure 34 - Répartition modale en fonction du motif de déplacement ( Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	65
Figure 35 - Relation entre la distance de déplacement et le choix modal ( Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	66
Figure 36 - Dispersion de la variable densité commerciale ( Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	67

Figure 37 – Dispersion spatiale de la variable densité commerciale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .....	68
Figure 38 - Relation entre la densité commerciale et la répartition modale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	69
Figure 39 - Dispersion du nombre de personnes résidant dans un rayon de 500 m des ménages (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	70
Figure 40 - Dispersion spatiale de la variable densité de population (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .....	71
Figure 41 - Relation entre la densité de population et la répartition modale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	72
Figure 42 - Position de la typologie des ménages dans le schéma méthodologique global.....	73
Figure 43 - Schéma méthodologique de la construction d'une typologie de ménages.....	74
Figure 44 - Résultat de la classification hiérarchique ascendante et choix des 4 <i>clusters</i> .....	76
Figure 45 – Attributs normalisés des groupes formés par le processus de segmentation .....	77
Figure 46 - Aires géographiques des types de ménages (carte générale).....	78
Figure 47 - Aire géographique des types de ménages (carte individuelle pour chaque groupe) ...	79
Figure 48 - Faible longueur du réseau routier en raison de grands espaces non carrossables .....	80
Figure 49 - Type de ménage 2 et proximité avec le métro.....	81
Figure 50 - Ménages du type 4 situés sur la frontière du périmètre urbain.....	82
Figure 51 - Répartition modale en fonction de la distance pour chaque type de ménage (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .....	83
Figure 52 - Pourcentage cumulé des distances parcourues, par type de ménage (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	84
Figure 53 - Position des arbres de décision dans le schéma méthodologique global.....	85
Figure 54 - Schéma illustrant un arbre de décision .....	87
Figure 55 - Règles de segmentation créées par l'algorithme C4.5 .....	88

Figure 56 - Arbre de décision écrivant le choix modal des travailleurs (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	91
Figure 57 - Part modale observée au sein d'une feuille de l'arbre de décision.....	92
Figure 58 - Arbre de décision illustrant le choix modal des étudiants (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .....	95
Figure 59 - Position des distances-seuil dans le schéma méthodologique global.....	99
Figure 60 - Univers de choix observés basés sur les distances-seuils de divers segments de population agrégés en 3 clusters (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) .....	100
Figure 61 - Position du potentiel de la marche dans le schéma méthodologique global .....	102
Figure 62 - Distribution fréquentielle des longueurs de déplacements et de la répartition modale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008).....	103
Figure 63 – Schéma illustrant le potentiel de la marche ( Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) (Déplacements pondérés) .....	106
Figure 64 - Proportion de personnes avec des pas en réserve selon leur secteur de domicile ....	108
Figure 65 - Principe de l'analyse point à point.....	117
Figure 66 - Longueur fractale pour différentes longueurs du réseau routier .....	119

## **CHAPITRE 1 - INTRODUCTION**

La période d'enrichissement qui a suivi la fin de la Seconde Guerre mondiale a laissé un héritage considérable et a fondamentalement changé la vision du monde des transports. La démocratisation de l'automobile qui concorda avec cette faste période modifia profondément les comportements de mobilité des citoyens des villes; les gens pouvaient maintenant parcourir des distances qui auraient auparavant été considérées comme impensables à un coût si bas et en un temps si court. Cela encouragea les citoyens urbains de villes comme Montréal, entassés dans de petites habitations, à s'établir dans de nouvelles banlieues, offrant davantage d'espace et un aménagement urbain résolument axé sur l'automobile. Entre 1971 et 1986, ces ont près de 200 000 personnes (environ 10% de la population) qui quittèrent l'île de Montréal (Ville de Montréal, 2010). Cette réorganisation de la distribution spatiale de la population changea à jamais la structure urbaine montréalaise, menant dans son sillage, une réorganisation de sites d'activités et des réseaux de transport (pôles commerciaux et industriels à grande surface).

Ce triomphe de l'automobile ne vient pas sans heurts; alors que la congestion sur le réseau routier métropolitain s'accroît, les infrastructures se déteriorent. De plus, dans ce contexte québécois, le défi amené par les changements climatiques interpelle le domaine des transports d'une manière directe. En effet, avec une cible de réduction de 20% des GES par rapport au niveau de 1990 à l'horizon 2020, le Québec se doit de faire des efforts considérables pour «verdir» le domaine des transports, le premier émetteur de GES au Québec avec 40% des émissions totales (MDDEP, 2009).

### **1.1 Mise en contexte**

Entre les années 1970 et 1990, le réseau routier et autoroutier montréalais a été considérablement amélioré, que ce soit par l'extension du réseau routier ou par l'élimination du péage autoroutier. Simultanément, les constructeurs automobiles ont grandement amélioré la sécurité (ajout de ceintures de sécurité, de freins antibloquage, de coussins gonflables, de structures monocoques, des pneus plus performants en conditions hivernales) et le confort des véhicules automobiles (système de climatisation, systèmes de divertissement, réduction du bruit, systèmes GPS). Tous ces éléments innovateurs en conjonction avec d'importants investissements dans le réseau routier et le développement des banlieues ont fait augmenter de manière

considérable l'utilisation de l'automobile. L'entrée massive des femmes sur le marché du travail dans les années 1980 a également exacerbé cette tendance lourde.

Incidemment, les modes de transports collectifs et actifs (surtout la marche) ont subi un fort déclin. Les aménagements urbains de cette période laissant souvent peu ou aucune place aux modes autres que la voiture (faible connectivité et connexité, parcours sinueux, boulevards larges, intersections très espacées, absence et déficience des trottoirs, faible densité), les parts modales de la marche et des transports en commun affichèrent donc une diminution considérable. Le désengagement financier des gouvernements envers les transports publics a également freiné le développement des équipements de transports en commun et l'amélioration du service offert aux citoyens. Également, les déplacements en modes actifs (marche, vélo) ont subi un déclin dû notamment à l'habitude d'utiliser l'automobile pour se déplacer, et ce, quelle que soit la distance à parcourir. De plus, cette diminution s'explique aussi par l'augmentation de la complexité des chaînes de déplacement.

L'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 semble toutefois montrer que de nombreux changements s'opèrent dans la mobilité de ses citoyens. En effet, la part modale de l'automobile a, pour la première fois depuis que des enquêtes Origine-Destination sont conduites à Montréal, affiché un faible recul et les transports en commun, pour leur part, montrent un regain en popularité.

Étant donné les incidences énormes qu'ont les habitudes modales des citadins, il importe de mieux comprendre les paramètres qui viennent influencer ce choix modal. La diminution de la fréquence des déplacements en modes actifs a un impact non négligeable sur le niveau d'activité physique quotidien et ainsi, des répercussions sur la santé. L'augmentation du trafic automobile produit également une quantité importante d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants dans l'air affectant la santé humaine et l'environnement.

C'est donc dans ce contexte et également dans une perspective d'atteinte d'une mobilité plus durable que l'étude des comportements de mobilité s'insère et plus particulièrement, l'étude du choix modal. Une meilleure compréhension des facteurs influençant le choix modal permettra de mieux expliquer les comportements observés actuellement et de mieux prévoir le choix modal dans un contexte où une nouvelle option de mode de transport devient disponible dans un secteur. Mieux comprendre les déterminants du choix modal ouvre également la porte au développement

de mécanismes de contrôle du choix modal; en effet, afin d'assurer l'efficacité de telles mesures, il importe de connaître quels aspects sont à viser pour ainsi espérer une réelle modification des comportements de mobilité.

## 1.2 Objectifs du projet de recherche

Ce projet de recherche se veut une exploration du sujet des déterminants du choix modal avec une intention de servir de base pour des projets de recherche futurs sur cette thématique.

Les principaux objectifs de ce projet de recherche sont :

- Énumérer, décrire et classifier les diverses variables relevées dans la littérature et étant réputées avoir un effet sur le choix modal. (Section 2.2)
- Déterminer, selon la disponibilité des données dans le contexte montréalais, quelles variables potentielles pourraient être utilisées pour étudier le choix modal. (Section 4.1)
- Évaluer un ensemble de variables jugées pertinentes en vue d'une utilisation dans une démarche de modélisation du choix modal. (Section 4.1)
- Privilégier, lors du choix de ces variables, celles qui sont évaluables au niveau du quartier, c'est-à-dire, dans le voisinage immédiat du domicile de la personne étudiée, par exemple, en utilisant une distance tampon (*buffer*). (Section 4.1.3)
- Faire un état de la situation du marché modal montréalais actuel et montrer l'impact de diverses variables sur celui-ci. (Section 4.2)
- Déterminer les seuils de compétitivité entre différents modes de transport et établir les univers de choix modaux individuels. (Sections 5.1 et 5.2)
- Estimer, compte tenu des seuils de compétitivité choisis, le potentiel de la marche à Montréal et évaluer l'impact que ce potentiel pourrait avoir sur la santé et sur l'environnement. (Section 5.3)
- Appliquer une méthode de fouille systématique des données à fin de classifier hiérarchiquement les variables corrélées avec le choix modal développées et de

prévoir le choix modal en utilisant l'arbre de décision ainsi obtenu. (Sections 4.3 et 4.4).

### **1.3 Structure du document**

À la suite d'une revue de littérature brossant un portrait de l'état des connaissances en matière de déterminants du choix modal (Chapitre 2), la problématique spécifique à ce projet sera décrite (Chapitre 3). À la lumière de cette énumération des variables ayant une influence sur le choix modal et des informations disponibles à Montréal, un ensemble de variables sera choisi et évalué. Le marché actuel des modes de transports à Montréal sera ensuite décrit et l'influence que certaines variables peuvent avoir sur celui-ci sera illustrée. Ces variables seront ensuite utilisées pour créer une typologie de ménages. Ensuite, une méthode de fouille systématique de données sera employée afin de créer une hiérarchisation des variables évaluées et également, modéliser le choix modal de segments spécifiques de population n'ayant pas un arbre de décision (Chapitre 4). À partir de ces observations sur le marché des modes de transports, des seuils de compétitivité entre les différents modes seront établis. Ces seuils serviront ensuite à effectuer deux analyses, d'une part, seront établis des niveaux de choix modaux en fonction des caractéristiques des individus et d'autre part, sera évalué, parallèlement, le marché potentiel de la marche (Chapitre 5). Diverses avenues de recherche seront ensuite proposées en se basant sur les limitations des expérimentations ici présentées et sur des expérimentations non complétées ou manquant des données ou ressources (Chapitre 6).

## **CHAPITRE 2 - REVUE DE LITTÉRATURE**

Cette revue de littérature se voudra d'abord une énumération de six différentes variables recensées étant réputées avoir un effet sur le choix modal. Ces variables seront également divisées en 5 catégories suivantes : les variables de la personne, les variables des ménages, les variables du milieu bâti, les variables des déplacements et les variables d'autre type.

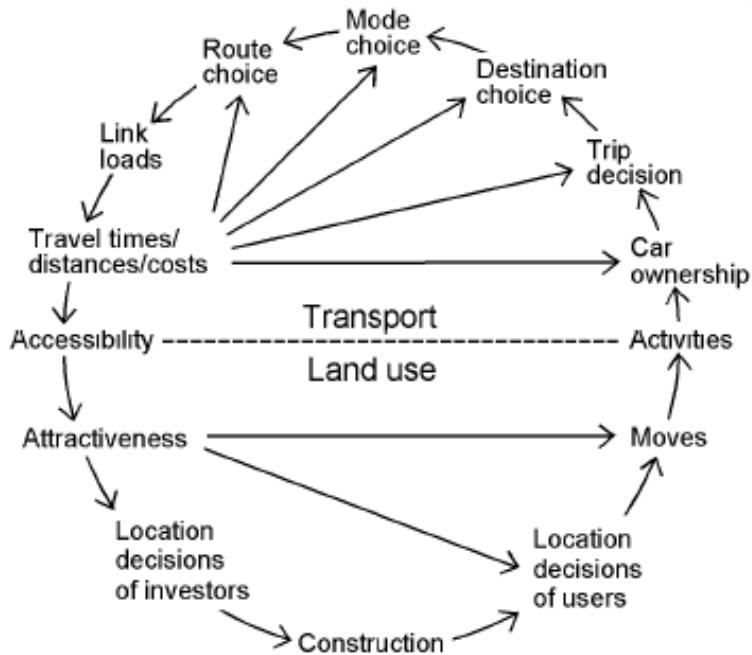
Par la suite, la thématique du choix modal sera insérée dans le contexte du développement durable en établissant des liens entre l'utilisation des différents modes de transport et les trois piliers du développement durable : l'environnement, la société et l'économie.

### **2.1 Choix modal et mobilité**

Le choix modal est une composante majeure du comportement de mobilité d'un individu. Une panoplie de déterminants influence le choix du mode de transport; quiconque peut d'emblée citer le coût, le temps, la distance, l'espace pour transporter des marchandises, etc. De plus, le choix modal conditionne, également, le comportement de mobilité, de par les caractéristiques inhérentes au mode choisi. En effet, le choix d'un mode de transport nous constraint à la sélection d'un parcours qui lui-même, est contraint à un réseau propre et par une flexibilité plus ou moins grande.

Wegener (2004) propose un cadre théorique afin d'expliquer le contexte du comportement de mobilité. Ce modèle, illustré à la Figure 1, met une forte emphase sur les interactions existant entre le milieu bâti et la mobilité. En effet, ce modèle illustre comment le choix modal peut influencer le milieu bâti et comment, à long terme, ce dernier peut aussi venir influencer le choix modal. En d'autres mots, la mobilité (fréquence, mode choisi, coûts de transport) est définie par l'environnement bâti (réseaux de transport, lieux de résidence, lieux d'activité) qui à son tour est défini par la mobilité en termes d'accessibilité et donc, d'attractivité des lieux d'activité et de résidence.

Il semble donc que mobilité et milieu bâti sont intimement liés via des relations de coûts de transport et d'accessibilité des lieux d'activités. Or, chacun des maillons de cette relation possède des déterminants qui lui sont propres. Dans le cas du choix modal, un véritable corpus de littérature traite justement de ses paramètres pouvant influencer le choix du mode de transport, celui-ci étant relaté dans la section suivante.



**Figure 1 - Modèle d'interactions entre le comportement de mobilité et le milieu bâti (Wegener, 2004)**

Kaufmann (1995) admet d'embrée la relation entre le milieu bâti et le choix modal : « l'organisation spatiale des agglomérations et tout particulièrement la localisation des activités relatives à l'habitat au travail et aux loisirs ont une importance primordiale dans les pratiques modales ». Kaufmann (1995) semble également admettre que le choix modal est inséré dans un contexte où les différents modes coexistent de manière asymétrique, ainsi : « l'automobile jouit d'une représentation favorable mettant en évidence la continuité du déplacement, la souplesse d'utilisation et de confort ». De plus, il met en contraste le fait que : « les transports publics sont l'objet d'une représentation plutôt défavorable mettant en évidence les contraintes de lignes et d'horaires ainsi que celle du voyage en collectif » (Kaufmann, 1995).

Kaufmann (1995) semble également réfuter le fait que les individus sont impartiaux dans leur choix de mode de transport en notant que : « des habitudes modalaires exclusivement automobilistes entraînent une représentation très négative des transports publics. » et que « pour ce type d'usagers, la possibilité d'utiliser les transports publics sort du champ du possible ». Conséquemment, « une large majorité des usagers en situation théorique de "choix modal" n'utilise les transports publics que lorsqu'elle y est contrainte par les conditions de circulation et/ou de stationnement », revenant donc sur la notion de coût de transport. (Kaufmann, 1995)

Kaufmann (1995) met ensuite de l'avant l'importance de la thématique ainsi traitée en soulignant que : « l'étude du choix modal doit nécessairement passer par l'étude approfondie des paramètres pouvant expliquer le choix effectué par l'usager. Celui-ci dépend de divers facteurs à la fois subjectifs et objectifs ». Il indique que l'usager effectue son choix selon divers facteurs soit : « à la fois par le budget temps de l'usager, variant selon son statut familial et économique, mais aussi par ses habitudes modales, qui dépendent, elles, de l'accessibilité des modes, du statut social et de ses expériences antérieures ». (Kaufmann, 1995) En ce qui a trait à l'équilibre entre les imposées par le budget-temps et à la notion *habituidinale*, celui-ci serait conditionné par l'attitude de l'usager vis-à-vis de chacun des modes à sa portée. (Kaufmann, 1995).

De surcroît, Kaufmann (1995) définit quatre catégories de variables influençant le choix modal :

« (1) *La position des usagers dans les réseaux* (soit l'*agenda de mobilité, la position sociale et l'accessibilité aux réseaux*), (2) *les facteurs contextuels* (soit le *phénomène urbain, le système des transports urbains et les valeurs qui les sous-tendent*), (3) *les habitudes modales des usagers* et enfin (4) *l'attitude vis-à-vis des différents moyens de transport.* »

## 2.2 Les variables influençant le choix modal

Bien que le cadre théorique de Kaufmann (et de Wegener) soit très utile afin de cerner la problématique du choix modal, plusieurs de ses catégories de variables proposées dans celui-ci contiennent des variables difficilement mesurables. Le présent inventaire se veut partiel, donc non exhaustif, en regard de variables objectives découlant de données largement disponibles et mesurables.

### 2.2.1 Variables de la personne

Les comportements de mobilité varient en fonction de divers paramètres définissant les personnes. Certains de ces paramètres sont intrinsèques à la personne (âge, genre) et d'autres sont extrinsèques (possession automobile, occupation principale, possession d'un permis de conduire). Ces paramètres influencent à la fois la capacité des personnes à utiliser un mode de transport (pas de permis de conduire avant 16 ans, problèmes de mobilité pour les aînés, longueurs d'enjambée

des enfants) et sur l'attractivité des modes de transport (transport en commun peu sécuritaire pour les femmes le soir, motorisation élevée de la tranche d'âge 25-65, etc.).

Bien que les paramètres intrinsèques et extrinsèques aient chacun un intérêt lors de l'explication des comportements, il est important de rappeler que les paramètres intrinsèques des personnes sont immuables et deviennent dès lors, peu utiles dans une perspective de création de mesures visant à un changement de comportement de mobilité.

Il est bien sûr fort complexe de résumer l'effet que peuvent avoir les paramètres liés à la personne sur la mobilité. Une grande majorité des études traitant des déterminants du choix modal incluent ce type de variables sans justification théorique; on peut donc présumer que ces relations sont vastement reconnues. Citons tout de même quelques études qui s'attardèrent plus spécifiquement à des segments de population. Notons aussi que les propriétés de la personne ont une forte influence culturelle. Ainsi des comportements « typiques » d'un segment de population d'une région ne peuvent être directement généralisés à une population d'une autre région. Il ne s'agit donc pas ici de tirer des conclusions générales sur le genre ou l'âge, mais de considérer la mobilité des individus en fonction de leur rôle au sein du ménage, de leur position dans cycle de vie du ménage et de la prise en compte des relations entre les individus au sein du ménage.

### **2.2.1.1 Genre**

Rosenbloom (2006) relate les principaux constats relevés dans la littérature effectués en regard des différences entre les comportements de mobilité des hommes et des femmes. Elle indique que les femmes sont généralement plus enclines à faire davantage de déplacements dans une journée, mais parcourent des distances plus courtes, elles sont moins nombreuses à posséder un permis de conduire, font davantage de déplacements avec le motif de reconduire quelqu'un et sont plus enclines à faire des chaînes de déplacements complexes que les hommes.

Rosenbloom (2006) explique que les divergences entre les comportements de mobilité des hommes et des femmes ont toujours existé mais que celles-ci ont tendance à s'amenuiser. Elle note toutefois que, bien que des progrès s'opèrent à ce niveau, le genre reste et restera en core pour longtemps un déterminant du comportement de mobilité étant donné que beaucoup de variables en lien avec la mobilité (propriétés du ménage et le revenu) sont profondément liées au genre dans notre société (rôle de la mère, inégalité salariale, etc.).

Il est cependant impossible de tirer des conclusions en se basant strictement sur le critère du sexe étant donné qu'une prise en compte d'autres variables en conjonction avec le genre, par exemple le revenu ou le groupe ethnique, pourra amener une grande variabilité d'un segment de population à l'autre. Néanmoins, compte tenu de ces différences au niveau du comportement de mobilité entre les hommes et les femmes, il est primordial de considérer le genre dans toute analyse touchant le comportement de mobilité.

### **2.2.1.2 Âge**

L'âge est révélateur de la position de l'individu à l'intérieur de son cycle de vie. L'âge témoigne en quelque sorte le statut de l'individu (étudiant, travailleur, retraité, etc.). Sachant que chacun de ces statuts mènera à des comportements de mobilité différents, on peut s'attendre à ce que l'âge ait un certain pouvoir explicatif du choix modal. Par exemple, des facteurs tels que la distance trop grande vers les écoles et le danger causé par la circulation routière sont des barrières à l'utilisation d'un mode actif pour les jeunes (Brownson & Buehler, 2005).

### **2.2.1.3 Ethnicité et religion**

Derek Halden Consultancy (2003), note toutefois que des recherches préliminaires semblent indiquer que certains groupes ont des patrons de mobilité différents de par leurs déplacements plus fréquents vers les lieux de culte et également, l'inacceptabilité dans certaines communautés de laisser certains groupes de femmes voyager seules.

## **2.2.2 Variables du ménage**

Les caractéristiques du ménage permettent de mieux comprendre les éléments propres aux ménages influençant les pratiques en termes de mobilité. Principalement, la structure et le revenu d'un ménage auront un effet sur divers aspects de la mobilité urbaine.

### **2.2.2.1 Structure du ménage**

Certaines formes d'unités familiales amènent des comportements de mobilité différents. En ce qui a trait aux chaînes de déplacement, il a été montré que les familles monoparentales avec jeunes enfants ont la plus grande propension à faire des chaînes de déplacement complexes, suivies par les familles monoparentales avec enfants d'âge scolaire, les couples à deux revenus sans enfants (DINKs) et les couples à deux revenus avec enfants d'âge préscolaire. Également,

les mères travailleuses sont plus enclines à faire des chaînes de déplacement complexes que leurs équivalents masculins. (Valiquette, 2009) De plus, cette probabilité augmente plus les enfants sont jeunes. (Li, Guensler & Ogle, 2004)

La taille du ménage a un grand impact sur la complexité des chaînes de déplacement effectuées. En effet, les ménages de grande taille de types familiaux vont souvent montrer des chaînes de déplacements complexes dues particulièrement à la présence d'enfants dans le ménage. Cet impact est davantage ressenti par les femmes qui doivent souvent assumer plusieurs tâches supplémentaires lorsque de jeunes enfants font leur entrée dans un ménage. (Valiquette, 2009)

Des chaînes complexes viennent notamment rendre les modes collectifs moins intéressants et ceux-ci viennent rapidement se faire supplanter par la voiture individuelle, celle-ci offrant une grande liberté au niveau des itinéraires que des horaires. (Ye, Pendyala & Gottardi, 2007) L'automobile permet aussi la possibilité de transporter de nombreux objets lourds tout en transportant plusieurs passagers.

### **2.2.2.2 Revenu**

Les ménages à haut revenu ont généralement davantage recours aux modes motorisés pour se déplacer et le ménages les plus pauvres sont ceux ayant le moins tendance à utiliser un mode privé. De plus, les ménages les plus riches sont les moins enclins à utiliser la marche comme mode de transport. L'inverse est encore une fois vrai pour les ménages les plus pauvres. (Morency, Trépanier, Tremblay & Poliquin, 2011)

### **2.2.3 Variables du milieu bâti**

La littérature fait un vaste état de l'influence des propriétés de l'environnement bâti sur la mobilité. De nombreuses études ont associé diverses caractéristiques décrivant les quartiers avec la mobilité et plus spécifiquement, le processus de choix modal. Voici certaines des variables qui semblent de grand intérêt.

#### **2.2.3.1 Propriétés urbanistiques macroscopiques**

Les premières recherches empiriques tentant de décrire les comportements de mobilité en se basant sur des propriétés urbanistiques ont été effectuées dans les années 1960 aux États-Unis.

Schnore (tel que cité dans Hadden, 1962) tente de montrer une relation entre la part modale du transport en commun et diverses propriétés urbanistiques macroscopiques des villes. Il s'intéresse particulièrement à la taille de la ville, à la densité de population et à l'âge de la ville. Il conclut que la variable expliquant le mieux la part modale du transport en commun était l'âge de la ville, sorte de proxy tenant compte du style urbanistique; en effet les villes plus vieilles auront été construites à l'époque des modes actifs et équestres, les villes industrielles, à l'époque des premiers transports collectifs et les villes de l'après-guerre, à l'époque de l'automobile. D'autres chercheurs ont également confirmé ces relations vers la même époque (Hadden, 1962; Mamon, 1977). Ces premières recherches mèneront d'ailleurs à des relations permettant de prédire la part modale du transport en commun dans des régions urbaines en se basant sur des données de revenus et de densité de population (Zegras, 2001). Des recherches plus récentes ont cependant tendance à montrer que des mesures urbanistiques macroscopiques telles que la densité de l'agglomération urbaine ou ses dimensions, ont très peu de pouvoir explicatif lorsque des simulations basées sur ces paramètres sont utilisées pour prédire des comportements de mobilité (Zegras, 2001). En effet, la variable urbanistique macroscopique la plus souvent citée, la densité, a peu de pouvoir explicatif en soi. Cependant, elle devient intéressante lorsque couplée à des variables plus spécifiques telles la mixité des usages, l'accessibilité régionale, les options de transport et la gestion des stationnements (Litman, 2011).

Néanmoins, en ce qui a trait aux variables urbanistiques macroscopiques, il est généralement reconnu qu'une agglomération urbaine de grande taille aura une influence sur le choix modal. Inévitablement, une agglomération de grande taille fera augmenter les distances à parcourir. Néanmoins, « un contexte urbain dense où les activités sont mono ou polycentrées favorise l'utilisation des transports collectifs, tandis qu'un contexte urbain diffus incite à l'emploi de l'automobile ». (Kaufmann, 1995) Ceci s'explique en partie par une concentration des lieux d'activité ce qui permet l'établissement d'une offre de transport collectif se rabattant vers une zone centrale.

### **2.2.3.2 Caractéristiques mésoscopiques**

Par caractéristiques mésoscopiques on entend des mesures relatives au milieu urbain. La plus largement utilisée est la distance au centre-ville. La distance au centre-ville d'un quartier est

souvent ex primée comme étant la distance entre le centre-ville et le centroïde du quartier central (Zegras, 2001).

De nombreux paramètres décrivant la mobilité urbaine ont des tendances variant proportionnellement à la distance au centre-ville. Zegras (2001) rapporte que la fréquence de déplacement en voiture pour un ménage, le nombre de véhicules-kilomètres parcourus par travailleur et la part modale de l'automobile sont tous proportionnels à la distance au centre-ville.

### **2.2.3.3 Propriétés du quartier**

#### *2.2.3.3.1 Densité de population*

La densité de population d'un quartier s'exprime comme étant le nombre d'habitants du quartier divisé par la superficie totale du quartier. De multiples études ont montré que la densité de population était corrélée avec le choix modal. En effet, une densité plus élevée viendra généralement favoriser les modes collectifs et actifs et réduire le nombre de déplacements en automobile. (Ewing & Cervero 2001)

#### *2.2.3.3.2 Densité d'emplois*

La densité d'emplois, normalement exprimée comme le nombre d'emplois d'un secteur donné divisé par la superficie du secteur étudié permet une appréciation du nombre de générateurs de déplacements de type travail pour un secteur. Des équipements de transport en commun situés dans des secteurs à forte densité d'emplois sont souvent associés avec une augmentation de la part modale des transports en commun pour les déplacements de type travail. Également, des zones à forte densité d'emplois vont généralement faire augmenter la part modale de la marche et du vélo pour des déplacements de type travail. (Ewing & Cervero 2001)

#### *2.2.3.3.3 Mixité des usages*

La mixité des usages, soit le degré de variété des usages dans un secteur donné, est corrélée notamment avec la part modale des modes actifs. Effectivement, les quartiers affichant une forte mixité des usages verront normalement un usage des modes actifs plus fréquent par rapport à des quartiers où les usages du sol sont très ségrégés. (Ewing & Cervero 2001)

Holz-Rau et al. (1999, tel que cité dans Scheiner 2010) ont observé que dans des quartiers monofonctionnels, donc où les activités commerciales sont spatialement ségrégées par rapport aux zones résidentielles, les déplacements avec motif magasinage sont beaucoup plus longs, malgré que moins fréquents, que dans des quartiers affichant une bonne mixité. Incidemment, les habitants de quartiers monofonctionnels auront davantage tendance à utiliser leur voiture pour effectuer ces déplacements.

#### *2.2.3.3.4 Connectivité*

La connectivité du réseau routier peut être examinée pour déterminer le nombre de connexions disponibles sur le réseau. Elle est souvent exprimée en termes de densité d'intersections. Un réseau ayant une plus grande connectivité aura généralement une part modale de marche plus élevée pour les déplacements courts. (Morency, Trépanier, Tremblay & Poliquin, 2011)

#### *2.2.3.3.5 Tortuosité*

La tortuosité est un indice décrivant le ratio entre la distance d'un trajet sur le réseau et celle à vol d'oiseau. Cet indice, nécessairement plus grand ou égal à 1, vient donc décrire la façon avec laquelle le réseau routier impute une plus grande distance de parcours pour des origines et destinations données. Une forte tortuosité va souvent décourager les automobilistes qui se voient contraints par les signalisations routières alors que les piétons ont plus de latitude quant à leurs trajets à ce niveau. Les piétons peuvent également bénéficier de raccourcis divers en traversant, par exemple, un parc. Celle-ci est souvent associée avec une diminution de la pratique de la marche. (Morency, Trépanier, Tremblay & Poliquin, 2011)

#### *2.2.3.3.6 Dimensions fractales*

Les dimensions fractales permettent de résumer un ensemble géométrique. Ainsi, l'évolution des paramètres urbains pouvant être cartographiés peut être analysée sous la forme de la variation temporelle de l'adimension fractale. Encore plus plausoire dans l'explication des comportements de mobilité, cette méthode semble pourtant prometteuse. Frankhauser (2008), décrit comment cette méthode peut être appliquée.

#### 2.2.3.3.7 Distance d'accès au transport en commun

Les personnes habitant à l'intérieur d'un rayon de 1 km d'une station de train de banlieue auront moins tendance à utiliser leur voiture que les gens habitant à l'extérieur de ce rayon. (ILS, 1999 tel que cité dans Scheiner, 2010).

Une étude réalisée par la MTC en Californie (2006, tel que cité dans Litman, 2011) a montré que l'accès au transport en commun avait un impact sur le niveau d'utilisation des transports collectifs. Une faible distance d'accès au domicile et au lieu de travail amène une plus grande part modale pour les transports collectifs. Ceci est montré au Tableau 1.

**Tableau 1 - Part modale des transports en commun en fonction des distances d'accès au domicile et au lieu de travail (MTC, 2006, tel que cité dans Litman, 2011)**

Distance d'accès à des équipements TC	Moins de 800 m du domicile	Plus de 800 m du domicile
Moins de 800 m du lieu de travail	42%	28%
Plus de 800 m du lieu de travail	16%	4%

#### 2.2.3.3.8 La classification des 5 D

Les diverses variables permettant de décrire l'environnement bâti et ainsi caractériser son impact sur les comportements de mobilité sont souvent classifiées sous l'appellation des 3 D (Cervero & Kockelman, 1997) : Densité, Diversité, Design. S' sont vues ajoutées à cette liste deux autres catégories (Ewing & Cervero, 2001) : accessibilité aux destinations et Distance d'accès au transport en commun. Certaines études ajoutent également deux autres catégories : gestion de la Demande et Démographie (Ewing & Cervero, 2010). Le Tableau 2 résume les principales caractéristiques de ces cinq catégories de variables et présente quelques exemples pour chacune.

**Tableau 2 - Les 5 variables D de mesure de l'environnement bâti (Ewing & Cervero, 2010)**

Catégorie « D »	Description	Exemples
Densité	Correspond à la variable étudiée divisée par une unité de surface.	Densité de population (population/aire), densité d'emplois (emplois/aire)
Diversité	Correspond au nombre de différents usages du sol et leur présence relative dans un territoire.	Mesures entropiques de la diversité (Indice de Shannon <sup>1</sup> , indice de Simpson <sup>2</sup> , etc.)
Design	Correspond aux caractéristiques du réseau routier dans un secteur.	Taille moyenne des pâtés de maison, densité d'intersection, ratio des nœuds sur les liens, tortuosité
Destinations (accessibilité des)	Aisance d'accès aux générateurs de déplacements.	Régionale : Distance au centre-ville, nombre de générateurs accessibles en un temps d'accès donné. Locale : Distance entre un domicile et le commerce le plus près.
Distance d'accès au TC	Distance d'accès à un équipement de transport en commun.	Distance moyenne d'accès au TC, densité d'arrêts TC.

En plus de proposer cette typologie de variables décrittant le milieu bâti, Ewing & Cervero (2010) vont plus loin et proposent une métaanalyse des diverses études réalisées sur ces variables. Les études utilisées dans cette métaanalyse ont été sélectionnées au sein d'un corpus de plus de 200 articles traitant des variables du milieu bâti. De ce nombre, 62 avaient les critères nécessaires pour effectuer une analyse d'élasticité. Ils ont ensuite analysé ces articles et en ont éliminé un certain nombre pour diverses causes, dont des données trop agrégées pour expliquer le comportement individuel (sophisme écologique), des études utilisant des modèles d'équations structurelles, des études se limitant à des segments de population spécifiques, des études utilisant des variables du milieu bâti subjectives et d'autres raisons. Les résultats de la métaanalyse ont été

<sup>1</sup> Mesure de la diversité basée sur la sommation, pour chaque usage du sol, du logarithme de la proportion établie entre un usage du sol et l'ensemble des usages du sol multiplié par cette même proportion (Marcon, 2012).

<sup>2</sup> Indice représentant la probabilité que deux zones choisies aléatoirement soient de la même catégorie d'usage du sol. (Marcon, 2012)

classifiés en trois catégories en fonction de la variable indépendante étudiée, en l'occurrence : les véhicules-kilomètres parcourus, l'utilisation de la marche et l'utilisation du transport en commun. Les résultats concernant le choix modal sont présentés aux Tableau 3 et Tableau 4.

**Tableau 3 - Élasticités de diverses variables du milieu bâti en regard de l'utilisation de la marche (Ewing & Cervero, 2010)**

Variable «D»	Variable	Nombre d'études	Élasticité moyenne
Densité	Densité population/ménages	10	0,07
	Densité d'emplois	6	0,04
	Ratio des surfaces commerciale	3	0,07
Diversité	Mixité des usages	8	0,15
	Ratio ménages/emplois	4	0,19
	Distance à un commerce	5	0,25
Design	Densité d'intersections	7	0,39
	% d'intersections à 4 branches	5	-0,06
Accessibilité des Destinations	Emplois dans un rayon de 1,6 km	3	0,15
Distance d'accès au TC	Distance à l'arrêt le plus près	3	0,15

**Tableau 4 - Élasticités de diverses variables du milieu bâti en regard de l'utilisation des transports collectifs (Ewing & Cervero, 2010)**

Variable «D»	Variable	Nombre d'études	Élasticité moyenne
Densité	Densité population/ménages	10	0,07
	Densité d'emplois	6	0,01
Diversité	Mixité des usages	6	0,12
	Densité d'intersections	4	0,23
Design	% d'intersections à 4 branches	5	0,29
	Distance à l'arrêt le plus près	3	0,29

On voit donc que bien que les variables « D » aient des élasticités relativement faibles (jamais supérieures à 40%), il est important de noter que ces variables sont souvent interreliées et,

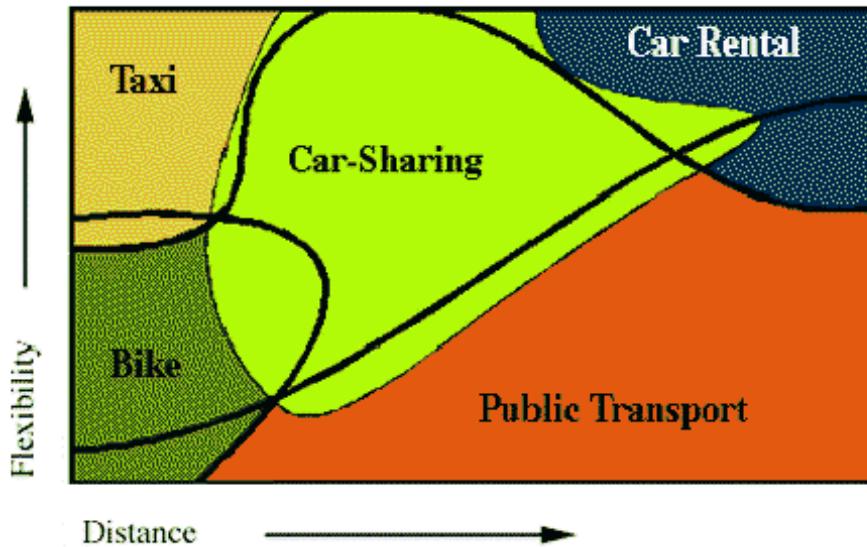
qu'en conjonction, en viennent à avoir un impact appréciable sur le choix modal des citoyens d'un quartier. Par exemple, il n'est pas rare de constater qu'un quartier d'une ville ayant une forte densité de population aura également, plus forte densité d'intersections, la meilleure accessibilité au transport en commun, la plus faible distance à un commerce, etc. Ces variables viennent donc souvent de pair. Il importe tout de même de toutes les considérer, car des quartiers peuvent avoir des lacunes évidentes dans certains aspects (ex. quartier résidentiel très dense mais très peu diversifié).

## 2.2.4 Variables des déplacements

Les impacts des propriétés des déplacements et du milieu bâti sur le choix du mode de transport sont interreliés. En effet, comme l'a résumé Scheiner (2010), le choix d'un mode de transport dépend de la distance à parcourir, elle-même dépendant de l'accessibilité aux lieux d'activités, celle-ci étant conditionnée par les caractéristiques du milieu bâti, notamment, les réseaux de transports, la mixité et la densité des usages du sol. Beaucoup d'études traitant des distances de déplacement vont donc faire intervenir les caractéristiques de milieu bâti.

Holz-Rau (1991, tel que cité dans Scheiner 2010) a observé en se basant sur des données d'ordre microscopique à Berlin, que la part modale de la voiture pour des déplacements avec motif magasinage et dont l'origine était le domicile augmentait rapidement à partir d'une distance de 325 m jusqu'à une distance de 670 m, au-delà de laquelle l'utilisation de l'automobile devient quasi unique. Scheiner (2010) note cependant que certaines de ces études ne sont pas consistantes. En effet deux études américaines sur l'impact de la proximité à une épicerie pour des déplacements avec motif magasinage ont tiré des conclusions contradictoires, l'une concluant que la proximité à une épicerie ne réduisait pas le nombre de déplacements en automobile (Handy & Clifton, 2001, tel que cité dans Scheiner, 2010) et l'autre notant que cette proximité était reliée à une augmentation de la fréquence de déplacements à pied (Cao et al, 2006).

La distance est souvent utilisée pour exprimer le choix modal. Un exemple tiré de Britton (1999) montre, à la Figure 2, la relation entre distance à parcourir, flexibilité du mode et choix modal. Par flexibilité sont entendues, entre autres, les conditions d'horaire et la possibilité d'emporter des marchandises. Cette courbe, utilisée pour montrer l'aire où l'autopartage est compétitif avec les autres modes, montre bien comment les modes se succèdent à mesure que la distance augmente.



**Figure 2 - Relation entre choix modal, distance et flexibilité des modes (Britton, 1999)**

## 2.2.5 Autres variables

### 2.2.5.1 Topographie

La topographie même de la ville a un impact sur le choix modal. Il est en effet observé que des villes sises en un site ayant de fortes déclivités afficheront des parts modales plus faibles en ce qui a trait aux modes actifs. (Kaufmann, 1995). Ceci semble donc indiquer que l'effort physique déployé ou anticipé peut agir comme facteur démotivant envers la pratique de la marche ou du vélo, entre autres. Dans cet optique, il serait intéressant de caractériser cet effet en fonction de segments démographiques, la pratique de la marche en milieu urbain étant davantage influencée par les groupes plus âgés. (Tremblay, 2009)

### 2.2.5.2 Conditions météorologiques

La météo semble avoir un impact principalement sur les modes de transport actifs, certainement les usagers les plus directement en contact avec les aléas du climat. Sabir, Koetse & Rietveld (2009) ont remarqué que dans le contexte néerlandais, lors de températures très froides (inférieures à -8°C), les cyclistes ont tendance à adopter le mode automobile ou transport public alors que la pratique des transports actifs augmente lorsque la température augmente. De forts

vents et de la pluie ont également tendance à faire changer les cyclistes de mode de transport vers l'automobile, principalement.

### **2.2.5.3 La dépendance à l'automobile**

#### *2.2.5.3.1 Notions comportementales*

À la base de la dépendance automobile vient la notion selon laquelle tout déplacement effectué est utile aux yeux de celui qui le fait. Autrement, aucun déplacement ne serait effectué. Également, la dépendance à l'automobile implique qu'une partie du choix effectué est expliquée par l'utilisation même de la voiture. (Derek Halden Consultancy, 2003)

#### *2.2.5.3.2 Déterminants de la possession automobile*

Caulfield (2011) recense dans sa revue de littérature divers déterminants expliquant la possession automobile. Parmi ceux-ci notons, le revenu, la détention d'un permis de conduire, l'emploi, le coût d'achat, l'accès au transport public, la distance parcourue, l'âge, la présence d'enfants dans le ménage et la taille du ménage. Dans sa recherche traitant des déterminants de la possession automobile en Irlande, Caulfield (2011) montre que les ménages dans des zones à faible densité, avec jeunes en âge de conduire, les ménages avec travailleurs, particulièrement les professionnels, employeurs et gestionnaires sont tous plus susceptibles de détenir plus d'une voiture.

Le modèle développé par Caulfield (2011) montre que l'âge a un impact marqué sur le fait d'habiter dans un ménage à plusieurs véhicules. Le groupe d'âge de 15 à 24 ans est le moins susceptible d'habiter dans un ménage à plusieurs véhicules et le groupe de 25 à 34 est celui étant le plus susceptible. Au niveau de la structure des ménages, les personnes seules et les familles monoparentales sont les plus susceptibles de ne détenir qu'une voiture alors que les ménages biparentaux ont davantage tendance à détenir plusieurs véhicules. Cette tendance est encore plus forte si le ménage biparental a des enfants plus vieux que 19 ans.

La section 2.2 précédente a donc permis de cerner un ensemble de variables, montré à la Figure 3, étant reconnues comme ayant un impact sur le choix modal. Cette liste est non exhaustive mais reflète bien le type de variables qui sont généralement disponibles au Québec.



**Figure 3 - Schéma résumant les variables cernées**

## 2.3 Choix modal et durabilité

Le choix modal est un élément primordial d'une mobilité durable. On peut qualifier qu'un système de transport respecte les principes de la mobilité durable s'il : «

- respecte les limites écologiques (charges environnementales, consommation de ressources) (sphère environnementale);
- assure l'efficience des déplacements du point de vue économique : optimisation de l'offre de transport pour répondre aux besoins des personnes et entreprises à un coût supportable pour les collectivités publiques (sphère économique);
- assure l'équité sociale (accès aux opportunités, santé publique) (sphère sociale) ». (Boillat, 2007) »

Il sera donc question, aux sections subséquentes de relever quelques-unes des implications que le choix modal amène en regard des trois aspects de la mobilité durable indiqués ci-haut.

### 2.3.1 Choix modal et environnement

Chaque mode de transport a un impact différent sur l'environnement. Cependant, qualifier l'impact environnemental de chaque mode n'est pas tâche facile étant donné que chaque mode mène à des patrons de mobilité différents. En effet, un automobiliste aura souvent tendance à parcourir de plus longues distances qu'un piéton. Également, la notion de taux d'occupation doit être prise en ligne de compte étant donné que l'impact des émissions des véhicules est

normalement divisé par le nombre d'occupants du véhicule. Ce nombre étant variable selon l'achalandage et les pratiques de covoiturage, il est très complexe d'obtenir des comparatifs sans équivoques. Finalement, vient la question des types de véhicules. Ainsi, l'impact d'une voiture écoénergétique par rapport à une voiture de gros gabarit ne sera pas le même, même chose pour un bus hybride par rapport à un bus carburant au diésel (Sioui, 2011).

Ce sont donc là divers aspects qui, lorsque considérés conjointement, créent un problème difficile à résoudre. On peut toutefois plus facilement comprendre l'effet individuel qu'a le choix modal sur chacun de ces aspects. C'est donc selon cette approche que sera abordé le sujet du rapport entre le choix modal et l'environnement.

### 2.3.1.1 Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique de divers modes de transport a été évaluée en fixant des hypothèses d'occupation des véhicules. Celles-ci dépendent de la période durant laquelle le véhicule se déplace : à l'heure de pointe ou hors pointe. Le Tableau 5 décrit les résultats obtenus par Potter (2003, tel que cité dans Vuchic, 2007).

**Tableau 5 - Consommation énergétique de divers modes urbains selon la période de la journée (Potter, 2003, tel que cité dans Vuchic, 2007)**

<b>Mode</b>	<b>Consommation d'énergie (MJ/siège-km)</b>	<b>En pointe</b>		<b>Hors pointe</b>	
		<b>Occupation estimée (%)</b>	<b>Consommation d'énergie (MJ/pass-km)</b>	<b>Occupation estimée (%)</b>	<b>Consommation d'énergie (MJ/pass-km)</b>
<b>Train de banlieue (électrique)</b>	0,39	60	0,65	25	1,56
<b>Train de banlieue (diésel)</b>	0,50	60	0,83	25	2,00
<b>Tramway</b>	0,18	70	0,25	40	0,45
<b>Métro</b>	0,22	70	0,31	40	0,55
<b>Autobus</b>	0,29	50	0,58	20	1,45
<b>Autobus (deux niveaux)</b>	0,22	50	0,44	20	1,10
<b>Minibus</b>	0,36	70	0,51	20	1,80
<b>Automobile (taille moyenne)</b>	0,70	23	3,04	40	1,75

On remarque que les modes collectifs sont nettement plus efficaces en termes de consommation d'énergie lors de la période hors pointe par rapport aux automobiles. Cependant, en période hors pointe, l'efficacité énergétique des automobiles se compare davantage aux modes publics.

### 2.3.1.2 Occupation du sol

Le choix modal aura également un impact sur l'espace occupé au sol par les équipements et infrastructures rendus nécessaires par l'implantation du mode. Vuchic (2007) a comparé l'espace utilisé par différents modes motorisés pour transporter 15 000 personnes à l'heure. Celui-ci a déterminé cette surface en considérant l'emprise des liens du système de transport (nombre et largeur des voies) ainsi que l'espace nécessaire aux nœuds du réseau (arrêts, terminus, stationnements). Le Tableau 6 résume les résultats obtenus.

**Tableau 6 - Espace occupé au sol par différents modes de transport pour transporter 15 000 personnes à l'heure (Vuchic, 2007)**

Mode	Emprise sur les liens	Réserve de capacité	Espace occupé aux nœuds
<b>Automobile sur rue</b> Taux occ. : 1,3 Fréquence : 700 v/h	119 m (17 x 3,5 m)	0%	34,5 ha de stationnement.
<b>Automobile sur autoroute</b> Taux occ. : 1,3 Fréquence : 1800 v/h	51 m (7 x 3,65 m)	0%	34,5 ha de stationnement. Échangeurs.
<b>Bus</b> Taux occ. : 75 Fréquence : 100 v/h	14 m (4 x 3,5 m)	0% pour le lien. 0% pour les stations.	0,16 ha par arrêt
<b>SRB</b> (Service rapide par bus) Taux occ. : 100 Fréquence : 90 v/h	11 m (2 x 3,65 m + accotements)	>0% pour le lien. 0% pour les stations.	0,25 ha par arrêt
<b>Tramway</b> Taux occ. : 400 Fréquence : 50 v/h	7,5 m (2 voies ferrées)	33%	0,06 ha par arrêt
<b>Métro</b> Taux occ. : 1000 Fréquence : 40 v/h	8 m (2 voies ferrées)	167%	De 0,25 à 0,53 ha par station
<b>Train de banlieue</b> Taux occ. : 1000 Fréquence : 25 v/h	8 m (2 voies ferrées)	67%	De 0,25 à 0,53 ha par gare

L'occupation du sol dépend donc fortement de la capacité des voies. Les modes publics permettant de transporter un bien plus grand nombre de personnes par voies publiques apportent à l'automobile. De plus, l'espace de stationnement est un élément primordial à considérer en ce qui a trait aux automobiles. En comparant l'espace occupé par les stationnements automobiles aux nœuds par rapport aux modes publics, on se rend compte que l'espace de 23 m<sup>2</sup> par véhicule est considérable.

En plus de contribuer aux îlots de chaleur, l'espace occupé au sol contribue à diminuer la perméabilité des sols, ce qui crée d'énormes charges sur les réseaux d'égouts pluviaux, lesquels étant encore aujourd'hui dans certains cas, raccordés aux stations de traitement des eaux usées. De plus, les automobiles stationnées perdent souvent des petites quantités d'huile ou de carburant qui sont ensuite emportées par les eaux pluviales et via les réseaux collecteurs, vers les cours d'eau.

Également, l'espace supplémentaire contribue à l'étalement urbain ce qui, globalement, fait augmenter les distances parcourues et donc, l'impact environnemental des navetteurs.

### **2.3.1.3 Émissions de gaz à effet de serre**

Similairement à l'évaluation de la consommation énergétique, l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre par différents moyens de transport est complexe, car elle dépend fortement des hypothèses posées quant à l'occupation des véhicules, au choix des véhicules de référence et des sources d'énergie considérées. Gagnon (2006) présente les émissions créées par divers modes de transport en fonction de leur utilisation en milieu urbain ou rural, de leur taux d'occupation, du calibre du véhicule (dans le cas des voitures) et de la source d'énergie utilisée. On peut voir au Tableau 7 que les émissions directes de gaz à effet de serre, ici exprimées en CO<sub>2</sub>, sont nettement supérieures pour l'automobile que pour les modes publics et ce, quelle que soit la taille du véhicule étudié.

Le choix modal effectué pour un déplacement aura donc un impact différent sur l'environnement en ce qui a trait aux émissions de gaz à effet de serre. L'état actuel de la technologie véhiculaire semble donc privilégier les modes publics et surtout, les modes actifs, afin d'assurer une mobilité durable selon la sphère environnementale.

**Tableau 7 - Émissions directes de gaz à effet de serre pour divers modes de transport (Gagnon, 2006)**

Mode	Nombre de personnes à bord	Consommation : kJ par passager • km	Source d'énergie	Émissions directes : g CO <sub>2</sub> par passager • km
<b>Transport interurbain des personnes</b>				
Utilitaire sport : 12 litres/100 km	une	4 200	essence	286
Auto intermédiaire : 8 litres/100 km	une	2 800	essence	190
Auto compacte : 6 litres/100 km	une trois	2 100 800	essence	143 54
Autobus diesel	(nombre moyen)	567	diesel	40
Train : diesel (LRC) électrique	50 % 50 %	800 300	diesel hydro	56 0
Avion : vols de plus de 1 000 km vols intérieurs	(nombre moyen)	1 500-2 500 3 000-5 000	kérosène	102-170 204-340
Motoneige sur piste	une	4 000-9 200	essence	272-626
<b>Transport urbain des personnes</b>				
Utilitaire sport : 17 litres/100 km	une	5 950	essence	405
Auto intermédiaire : 12 litres/100 km	une	4 200	essence	286
Auto compacte : 9 litres/100 km	une trois	3 150 1 100	essence	214 75
Autobus diesel	50 % 100 %	800 450	diesel	56 32
Tramway électrique	100 %	300	hydro	0
Autobus scolaire	(nombre moyen)	432	essence	29
Métro (électrique)	40 % 100 %	280 130	hydro	0
Piéton		150	céréales	blé = 2
Cycliste		60	céréales	blé = 1

## 2.3.2 Choix modal et société

Le choix modal influence également la sphère sociale de la mobilité durable. Chaque mode de transport vient avec ses propres impacts sur la société, que ce soit au niveau de la santé publique de l'accessibilité aux équipements communautaires et de santé, et ce, pour toutes les strates sociales. De plus, les modes de transports ne sont pas tous aussi sécuritaires les uns que les autres, amenant donc des taux de mortalité différents.

### 2.3.2.1 Santé

L'utilisation d'un mode de transport actif a un impact non négligeable sur la santé physique et donc, à l'échelle sociétale, sur la santé publique. En effet, en considérant l'exemple de la marche, celle-ci contribue à maintenir les muscles en bonne forme, elle réduit les risques de dépression, d'anxiété et de divers autres troubles psychologiques (Tremblay, Morency & Trépanier, 2009). Il existe d'ailleurs une corrélation entre l'augmentation du taux d'utilisation des modes actifs et un plus faible taux d'obésité, d'événements cardiovasculaires et du taux de mortalité (Tin Tin, 2009).

L'utilisation du transport en commun a également, de par la nécessité de marcher pour accéder aux arrêts ou stations et pour effectuer les correspondances, un impact sur la santé publique. Morency, Demers & Trépanier (2011) ont montré qu'un déplacement en transport en commun effectué à Montréal implique la complétion de 1 250 pas, en moyenne. Ainsi, un voyage aller-retour en transport en commun amène l'usager à effectuer 2 500 pas, soit 25% de l'exercice quotidien recommandé.

### 2.3.2.2 Cohésion sociale et équité

L'utilisation d'un mode actif augmenterait significativement le niveau de cohésion sociale ainsi que la qualité de vie des quartiers et de l'équité des différentes strates sociales en regard du transport (Tin Tin, 2009). L'usage du transport en commun aurait un effet de rempart contre l'isolement dans les petites villes du Québec. Dans les grandes villes, le transport en commun contribue à l'inclusion sociale des jeunes, des aînés, des familles monoparentales et des ménages les plus pauvres (Beaudet et coll., 2010).

### **2.3.2.3 Sécurité dans les transports**

Le risque de subir un accident lors d'un déplacement n'est pas le même selon le mode de transport choisi. Dans le contexte québécois, l'utilisation du transport en commun est environ de 10 à 20 fois plus sécuritaire que l'utilisation d'une automobile (Beaudet et coll., 2010).

Si les usagers du transport en commun jouissent d'un plus haut niveau de sécurité que les automobilistes, les auteurs affirment que ce n'est pas assez. Selon une étude norvégienne, les cyclistes seraient 7,5 fois plus à risque d'être blessés lors d'un accident que les automobilistes (Elvik, 2009). Les cyclistes américains seraient même encore plus à risque, étant 11 fois plus susceptibles d'être blessés lors d'un déplacement par rapport à un automobiliste (Pucher & Dijkstra, 2000). Ces deux mêmes études relèvent que les piétons sont 4 fois et 36 fois plus à risque que les automobilistes en Norvège et aux États-Unis, respectivement.

### **2.3.3 Choix modal et économie**

Que ce soit au niveau de l'économie nationale ou du budget des ménages, le choix d'un mode de transport aura un impact sur la composante économique de la mobilité durable.

#### **2.3.3.1 Budget des ménages**

En considérant le coût global de l'utilisation d'une automobile, donc, en incluant le coût d'achat, de financement, d'amortissement, d'assurances, d'entretien, de remplacement des pièces qui subissent de l'usure, le coût du permis de conduire et le coût du carburant, l'automobile s'avère très dispendieuse. Beaudet et coll. (2010) montrent qu'au Québec, l'utilisation d'une automobile est de 8 à 10 fois plus chère que le transport en commun. Notons de plus que cette analyse ne prend pas en considération le coût du stationnement.

#### **2.3.3.2 Économie nationale**

Le choix modal a aussi, indirectement, un impact sur les marchés économiques. L'Union internationale des transports publics (2011) montre comment les villes où l'utilisation de la marche, du vélo et des transports en commun ont de moins grandes dépenses en transport par personne que les villes ayant de fortes proportions d'utilisation de l'automobile. L'étude cite des villes comme Tokyo et Hong Kong qui attribuent un montant équivalent à 6% de leur PIB national versus des villes comme Houston et Sydney qui en attribuent 12%.

Le même rapport de l'UITP indique également qu'un dollar investi dans le transport en commun produira 25% plus d'emplois qu'un dollar investi dans des infrastructures de transport routier.

Il appert donc que les choix modaux effectués ont un impact sur divers aspects de la notion de mobilité durable. Ceci vient donc démontrer en que lque sorte l'importance de la problématique et la pertinence du sujet. Le cadrage de tous ces éléments sera davantage précisé dans la section suivante qui décrira la problématique spécifique du projet.

## **CHAPITRE 3 - PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE**

### **3.1 Vers une considération de tous les modes**

La revue de littérature précédente a fait l'état de nombreuses variables pour lesquelles des relations existent avec le choix modal. Bien que les variables expliquant le choix modal soient largement étudiées, la plupart des modèles québécois estimant le choix modal sont plutôt des modèles de transfert modal; on y calcule la probabilité qu'un automobiliste se tourne vers le transport en commun plutôt que sa voiture ou une combinaison des deux modes. Bien que ces modèles soient grandement évolués et soient basés sur des méthodes reconnues, ils ne répondent guère aux récentes préoccupations d'atteinte d'une mobilité plus durable. En effet, ces modèles ne prennent normalement pas en compte les modes actifs ou partagés. Pourtant, vu l'engouement renouvelé pour le vélo dans les grandes villes nord-américaines et son utilisation soutenue en Europe, étant donné la recherche d'un milieu urbain plus vivable et marchable, l'augmentation du coût de l'essence et de l'effervescence des organismes de vélopartage et d'autopartage, il faudra bientôt accorder une plus grande attention à ces modes. Il sera donc ici question de tenter de considérer tous les modes dans une perspective de modélisation du choix modal.

### **3.2 Vers une estimation de variables à l'échelle des voisinages**

Un autre aspect qui semble être mis de l'avant dans cette étude est l'utilisation de variables évaluées au niveau du voisinage des ménages. Ceci se représente plus concrètement, par exemple, par une zone tampon autour de chaque ménage. L'avantage de ce niveau de résolution est qu'il permet de mesurer de manière très localisée des paramètres qui affectent des modes plus « sensibles » quant à leur utilisation. Pour illustrer cette notion de « sensibilité », un détour de 500 mètres bien davantage inconvenant pour un piéton que pour un automobiliste. Un autre avantage de cette méthode est qu'elle n'amène pas de problèmes d'effet frontière que l'on peut rencontrer avec des variables évaluées par secteurs. Finalement, comme un ensemble de variables sont évaluées pour tous les ménages au même niveau de résolution, on peut envisager de créer une typologie des ménages basée sur ces variables. Ainsi, il devient possible de créer de nouvelles « frontières » qui seraient basées sur des propriétés ayant un effet sur le choix modal et

qui sont propres à un ensemble de ménages homogènes. Ceci contraste avec une méthodologie par secteurs qui est souvent basée sur des frontières politiques ou arbitraires.

### **3.3 Vers une vision différente du coût de transport**

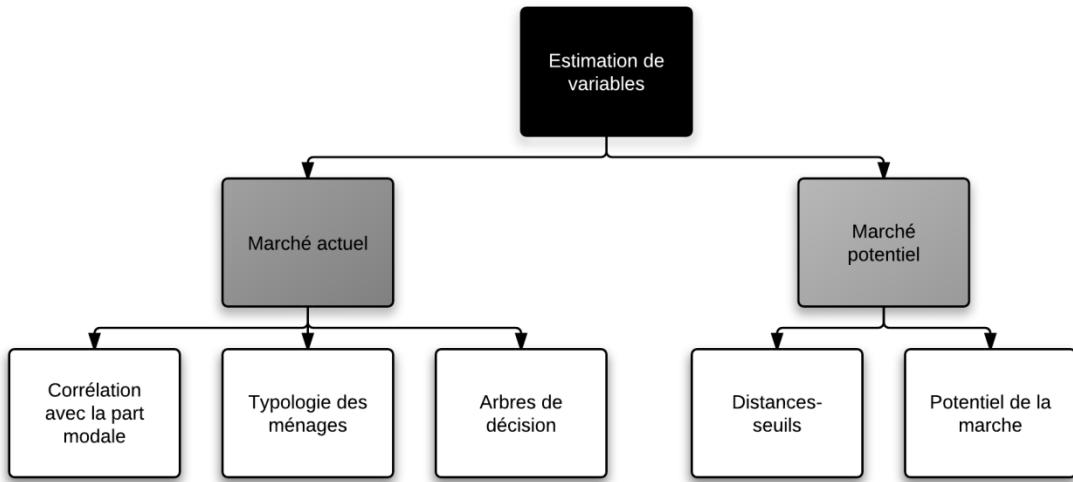
Enfin, la notion de coût de déplacement, la plus largement utilisée dans les modèles de choix modal est difficilement estimable dans le cadre d'une stratégie de mobilité durable; d'autant plus si tous les modes sont considérés. En effet, l'estimation du coût généralisé de transport, très utile dans la planification de grandes infrastructures de transport, laisse actuellement peu de place aux modes actifs étant donné leur faible vitesse. De plus, le concept de mobilité durable se veut être une perspective différente sur la mobilité qui intègre les notions d'environnement, de société (incluant la santé humaine) et d'économie. Les évaluations actuelles de la valeur du temps de transport n'accordent que peu de place aux impacts bénéfiques sur la santé et sur l'environnement qu'ont les modes actifs. Dans cette conjecture, cette étude prendra comme base d'analyse principale (variable-clé) la distance du déplacement. Cette dernière a l'avantage d'être neutre et impartiale quant à la quantification du « coût » du déplacement à effectuer. Il devient alors possible d'énumérer les modes envisageables pour un déplacement d'une longueur donnée. Notons toutefois que l'estimation d'un coût généralisé de transport intégrant tous les aspects de la mobilité durable serait une situation souhaitable et que la distance a ici été choisie comme alternative pour pallier cette lacune.

### **3.4 Schéma global de la méthodologie**

Le schéma global de la méthodologie est montré à la Figure 4. Celle-ci se décline en deux grandes sections : le marché actuel des modes et le marché potentiel des modes. Dans chacune, des analyses plus particulières seront effectuées. Tout au long de ce document, à chaque nouvelle analyse, un rappel du schéma méthodologique de la Figure 4 sera présenté afin de mieux situer celle-ci dans le schéma global.

La méthodologie globale du projet est scindée en deux sections, d'une part, la description du marché actuel des modes sera effectuée et d'autre part, le marché potentiel des modes sera décrit. Dans la première, un jeu de variables sera évalué et mis en corrélation avec le choix modal. Les variables pertinentes seront ensuite utilisées pour créer une typologie des ménages et pour expliquer le choix modal en créant un arbre de décision. Dans la seconde, on utilisera les

constats de la première sélection pour définir le potentiel de modes en montrant pour la première fois l'importance de la distance et en évaluant par la suite le potentiel de la marche à Montréal.



**Figure 4 - Schéma global de la méthodologie d'analyse des déterminants du choix modal**

## CHAPITRE 4 - LE MARCHÉ ACTUEL DES MODES

Un sous-ensemble de variables a été estimé à partir des données de mobilité et d'usage du sol disponibles à Montréal. Celles-ci sont classifiées selon quatre catégories comme indiquées à la Figure 5.

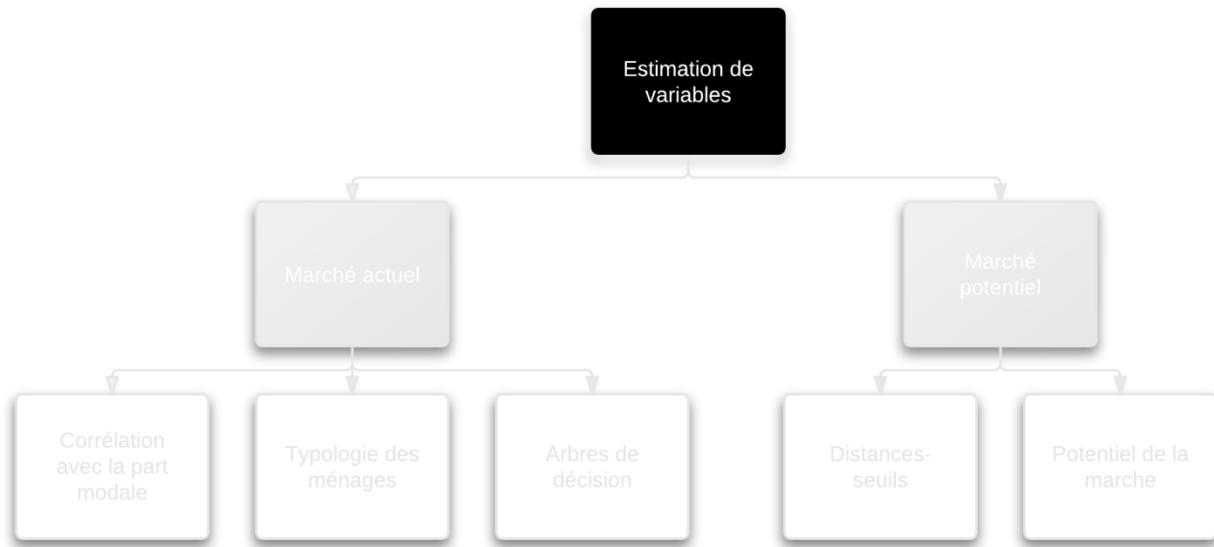


**Figure 5 - Catégories de variables ayant une influence sur le choix modal**

Le milieu bâti constitue tous les éléments physiques entourant les déplacements. Il s'agit donc des propriétés décrivant les réseaux de transport, l'usage du sol et l'intensité de l'usage du sol. Le ménage définit les propriétés familiales dans lesquelles les personnes habitent et qui affectent tous les habitants du même ménage. Les propriétés de la personne sont de deux natures : intrinsèques (âge, genre) et extrinsèques (occupation principale, habileté à conduire, etc.). Cette distinction permet de prendre en compte les variables de la personne étant immuables et donc, qui ne peuvent être modifiées, par exemple, par une politique ou une mesure incitative. Finalement, les propriétés des déplacements correspondent aux caractéristiques des déplacements tels que décrits dans les enquêtes Origine-Destination, en faisant abstraction du mode utilisé.

## 4.1 Méthodologie d'estimation des variables

La section suivante décrira la méthodologie d'évaluation des diverses variables estimées au cours de cette analyse. La construction de variables correspond à la première étape permettant d'analyser les déterminants du choix modal. Ceci est illustré à la Figure 6. Cette étape préliminaire sous-tend tout le reste de l'analyse présentée dans ce document.



**Figure 6 - Position de l'étape de construction des variables dans le schéma méthodologique**

### 4.1.1 Sources de données

Les données utilisées pour créer les variables décrites dans cette section sont issues de différentes sources gouvernementales, académiques ou paragouvernementales. En voici la liste :

- Enquête Origine-Destination de Montréal 2008
- Fichier de chaînes de déplacements de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 (Valiquette, 2010)
- Réseau routier canadien de 2006 de Statistiques Canada.
- Fichiers GTFS des organismes de transport de la région métropolitaine de Montréal (Société de transport de Montréal, 2011; Réseau de transport de

Longueuil, 2011; Société de transport de Laval, 2011; Agence métropolitaine de transport, 2011)

- Horaires du service de transport en commun de la ville de Saint-Jean-sur-Richelieu (Ville de Saint-Jean-sur-Richelieu, 2011)
- Horaires d'autobus du TCIL (Transport collectif intermunicipal des Laurentides, 2011)

#### **4.1.2 Variables extraites d'enquêtes**

Certaines variables sont disponibles dans la base de données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Ces variables ne nécessitent pas de transformation ou de calcul supplémentaire. Un groupement par classes peut cependant être effectué selon les analyses. Le Tableau 8 montre les variables utilisées directement à partir de la base de données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008.

**Tableau 8 - Source et description des variables directement extraites de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008**

<b>Variable</b>	<b>Source</b>	<b>Description&gt;Note</b>
<b>Variables de la personne</b>		
Âge	Origine-Destination de Montréal 2008	Les valeurs inférieures à 5 ans sont exclues.
Sexe	Origine-Destination de Montréal 2008	Genre de la personne.
Statut dérivé	Origine-Destination de Montréal 2008	Occupation principale de la personne.

**Tableau 8 - Source et description des variables directement extraites de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 (suite)**

<b>Variables du ménage</b>		
Taille	Origine-Destination de Montréal 2008	Nombre de personnes habitant au sein du ménage.
Revenu	Origine-Destination de Montréal 2008	Classe de revenu par tranche de 20 k\$, de 0 à 100 k\$, classe distincte pour valeurs supérieures à 100 k\$.
<b>Variables des déplacements</b>		
Motif	Origine-Destination de Montréal 2008	Raison déclarée pour s'être déplacé.
Chaînage complexe	Origine-Destination de Montréal 2008  Fichier de chaînes de déplacements (Valiquette, 2010)	Indique si un déplacement fait partie d'une chaîne complexe de déplacement.

#### **4.1.3 Variables construites**

Les variables construites se déclinent selon la même typologie de variables que montrée au Tableau 9. Par contre, les variables ci décrites ont été obtenues après soit, un traitement des données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, ou par analyse spatiale des données.

Un aspect important de ces variables est que celles-ci ont été pour la plupart évaluées au niveau des alentours des domiciles. Celles-ci seront prénommées comme étant *égocentrées* car leur estimation en centrée sur une personne ou un ménage. C'est-à-dire qu'un jeu de variables est

estimé pour chaque ménage inclus dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Pour ce faire :

- 1) Une zone tampon est créée autour de chaque ménage contenu dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008
- 2) La variable est estimée individuellement pour chaque ménage à l'intérieur de la zone tampon créée.

Cette méthodologie permet :

- 1) De mesurer des variables à une échelle très désagrégée.
- 2) De pouvoir faire une classification des ménages par similitude d'attributs avec l'objectif de définir des types de ménages similaires

Notons que les zones tampons choisies pour cette méthodologie sont définies par un rayon de 500 m entourant les domiciles. D'autres zones d'analyses auraient pu être considérées telles que des rayons de grandeurs différentes ou des tampons dits « réseau » qui au lieu de tracer un rayon à vol d'oiseau, parcourt tous les liens accessibles sur le réseau du voisinage du ménage jusqu'à avoir parcouru la distance choisie..

**Tableau 9- Source des données et description des variables construites**

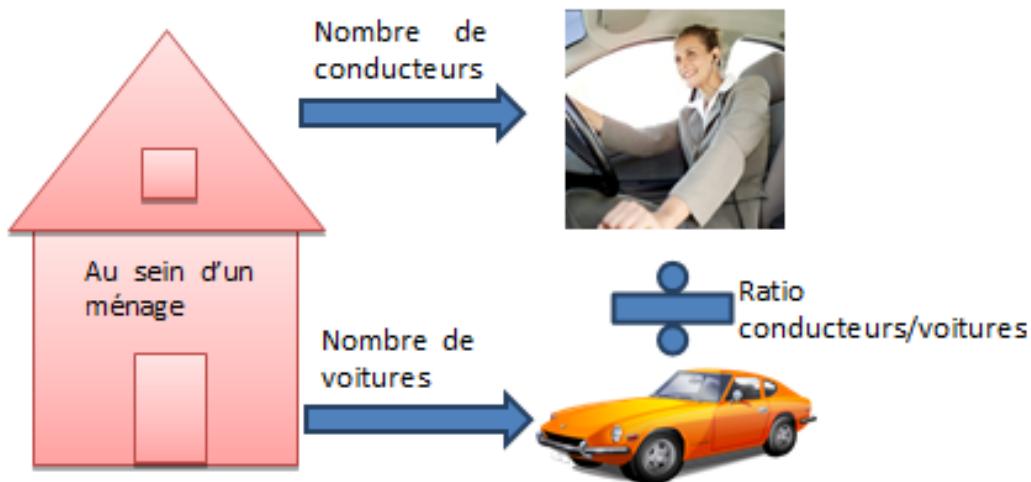
Variable	Source	Description>Note
<b>Variables du milieu bâti</b>		
<u>Densité</u>		
Densité de population	Enquête Origine-Destination de Montréal 2008	Estimée à l'échelle du voisinage des ménages
Densité d'emplois	Enquête Origine-Destination de Montréal 2008	Estimée à l'échelle du voisinage des ménages  Calculée comme densité de destinations à motif travail

**Tableau 9- Source des données et description des variables construites (suite)**

Densité de commerciale	Enquête Origine-Destination de Montréal 2008	Estimée à l'échelle du voisinage des ménages Calculée comme densité de destinations à motif magasinage
<b><u>Design</u></b>		
Longueur du réseau routier (km)	Recensement 2006	Estimée à l'échelle du voisinage des ménages
<b><u>Accès au TC</u></b>		
Matrice des parts modales du TC	Enquête Origine-Destination de Montréal 2008	Estimée au niveau des subdivisions municipales
Passages-arrêts cumulés sur 24h	-Enquête Origine-Destination de Montréal 2008 Fichiers GTFS (AMT, STM, STL, RTL, CITs) -Horaires d'autobus de la ville de Saint-Jean-sur-Richelieu -Horaires du TCIL	Estimée à l'échelle des alentours des ménages. Données GTFS auxquelles s'ajoutent deux organismes faisant partie du territoire de l'enquête O-D, mais hors du territoire de l'AMT.
<b><u>Variables des ménages</u></b>		
Accès à l'automobile	Enquête Origine-Destination de Montréal 2008	Évaluée pour chaque ménage.
<b><u>Variables des déplacements</u></b>		
Distance (km)	Enquête Origine-Destination de Montréal 2008	Méthode Manhattan (Équation 1 de la section 4.1.3.8)
Chaînage	Enquête Origine-Destination de Montréal 2008	Utilisation de la méthode développée par Valiquette (2010).

#### 4.1.3.1 Accès à l'automobile

La variable « accès à l'automobile » est construite à partir des données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Elle est formée en calculant le ratio de voitures possédées par un ménage par le nombre de personnes possédant un permis de conduire (conducteurs) au sein d'un ménage. Ceci est illustré à la Figure 7.



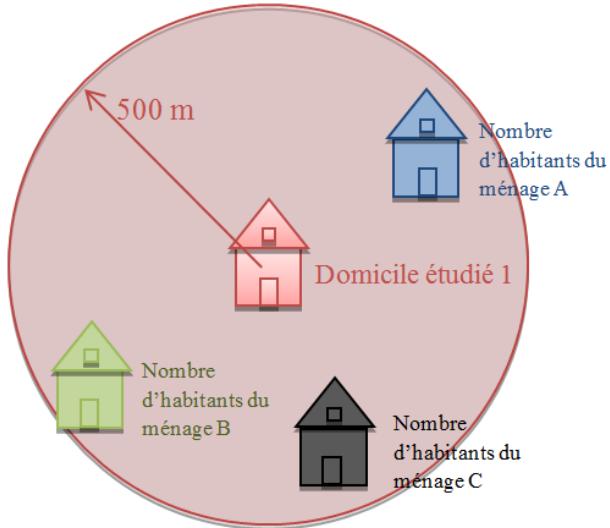
**Figure 7 - Calcul de la variable "Accès à l'automobile"**

Ce ratio est ensuite qualifié ainsi : si le nombre de véhicules dans un ménage est égal ou supérieur au nombre de permis de conduire, le ménage sera qualifié de « accès total ». Si le ratio est entre 0 et 1 exclusivement, le ménage sera qualifié de « accès partiel ». Si dans un ménage, le nombre de voitures est nul, mais que le nombre de permis de conduire est non nul, le ménage sera qualifié de « accès nul ». Finalement, si le ménage ne possède aucun permis de conduire, il sera qualifié de « sans permis ». Cette distinction entre les ménages n'ayant aucun permis de conduire et ceux en possédant un ou plus, mais n'ayant aucun véhicule est conservée a fin de montrer la possibilité qu'ont ces ménages de louer ou emprunter une voiture.

#### 4.1.3.2 Densité de population

La densité de population a été évaluée à l'échelle d'un rayon de 500 m de chacun des ménages de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Une somme du nombre de personnes incluses dans ce rayon de 500 m est ensuite calculée et divisée par l'aire d'analyse

(tampon de 500 m de rayon autour du ménage). Ceci est illustré à la Figure 8 où l'on peut remarquer comment les calculs sont effectués individuellement pour chaque ménage de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. La population du ménage à l'étude est aussi incluse dans le total de personnes dans la zone de rayon de 500 m autour de celui-ci.

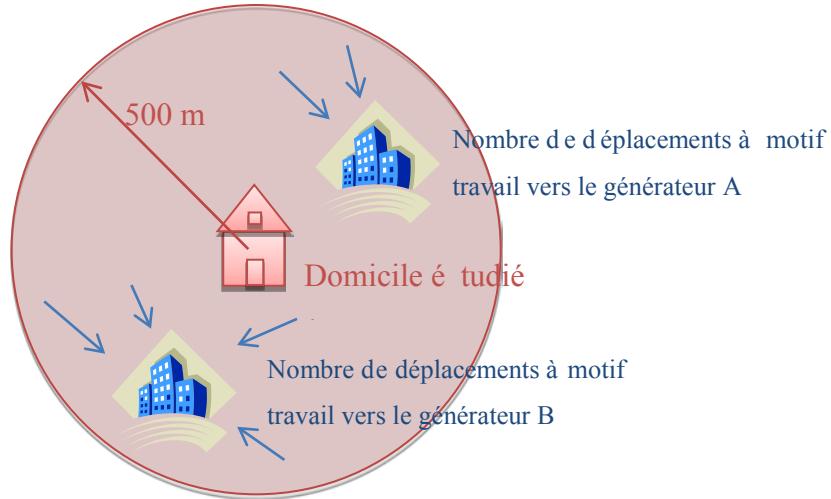


**Figure 8 - Estimation de la variable "Densité de population" au niveau des alentours d'un domicile**

La densité de population dans le précédent exemple serait donc obtenue par la somme des personnes des ménages A, B et C additionnée des personnes du ménage à l'étude 1, divisée par l'aire à l'étude, soit une zone circulaire de 500 m de rayon.

#### 4.1.3.3 Densité d'emplois

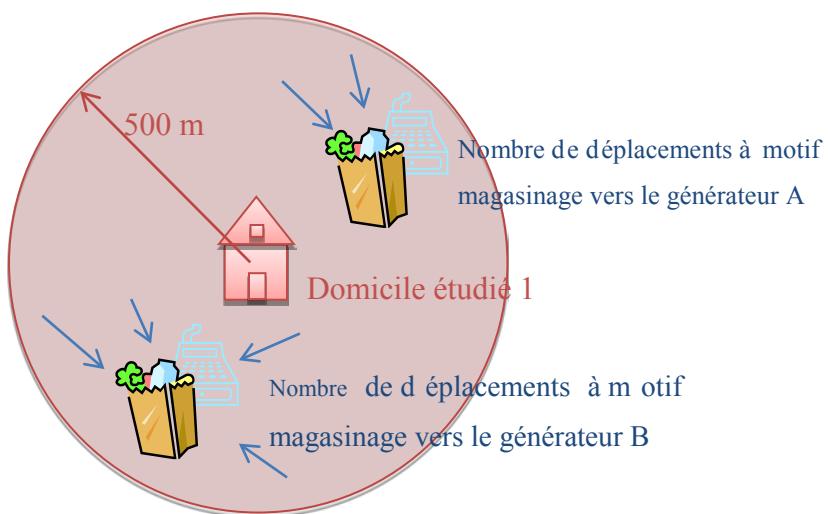
La densité d'emplois aussi été évaluée à l'échelle d'un rayon de 500 m autour de chacun des ménages. Pour chaque domicile, chaque déplacement de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 à motif travail ayant une destination incluse dans un rayon de 500 m de celui-ci est cumulé. Ceci est utilisé pour approximer le nombre d'emplois aux alentours du domicile. Ce cumul est ensuite divisé par l'aire de la zone d'analyse, soit un tampon de 500 m autour de chaque domicile. Ceci est illustré à la Figure 9. On peut y voir que la densité commerciale du domicile étudié 1, s'agit de la somme des déplacements à motif travail vers les générateurs A et B, divisée par l'aire étudiée, soit une zone circulaire de 500 m de rayon.



**Figure 9 - Estimation de la densité d'emplois au niveau du voisinage d'un ménage**

#### 4.1.3.4 Densité commerciale

La densité commerciale est estimée indirectement en sommant sur un rayon de 500 m autour de chaque domicile le nombre de destinations à motif magasinage. Ce nombre de destinations à motif magasinage est ensuite divisé par la superficie d'analyse, soit un tampon de 500 m de rayon autour de chaque domicile. Ceci est illustré à la Figure 10. La densité commerciale pour le domicile étudié 1 serait donc dans cet exemple la somme des déplacements à motif magasinage vers les générateurs A et B, divisée par l'aire de la zone étudiée.

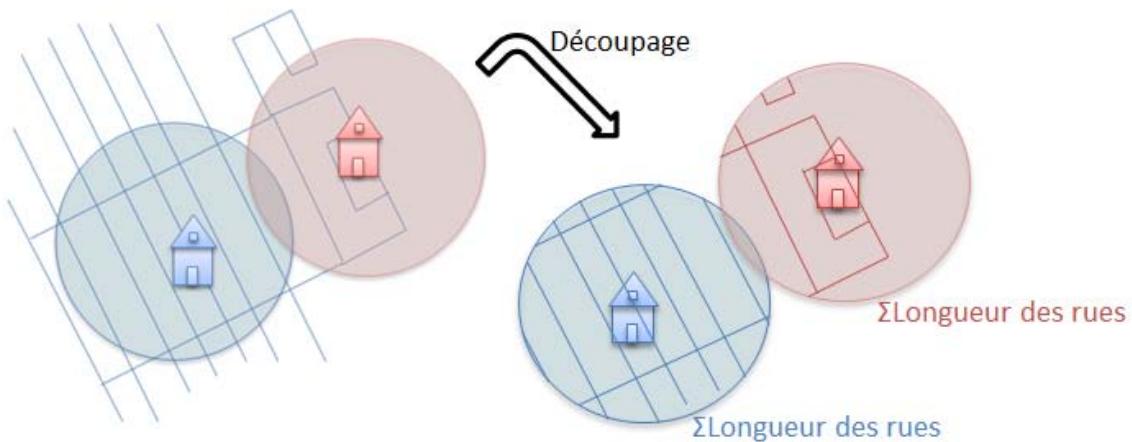


**Figure 10 - Estimation de la densité commerciale au niveau du voisinage d'un ménage.**

#### 4.1.3.5 Longueur du réseau routier

La longueur du réseau routier est évaluée à l'échelle d'un espace tampon de 500 m autour de chaque domicile. Une fonction GIS est ensuite utilisée afin de pouvoir faire le cumul de la longueur du réseau routier dans cette zone d'analyse. Les données du réseau routier provenant du recensement canadien de 2006 ont été utilisées.

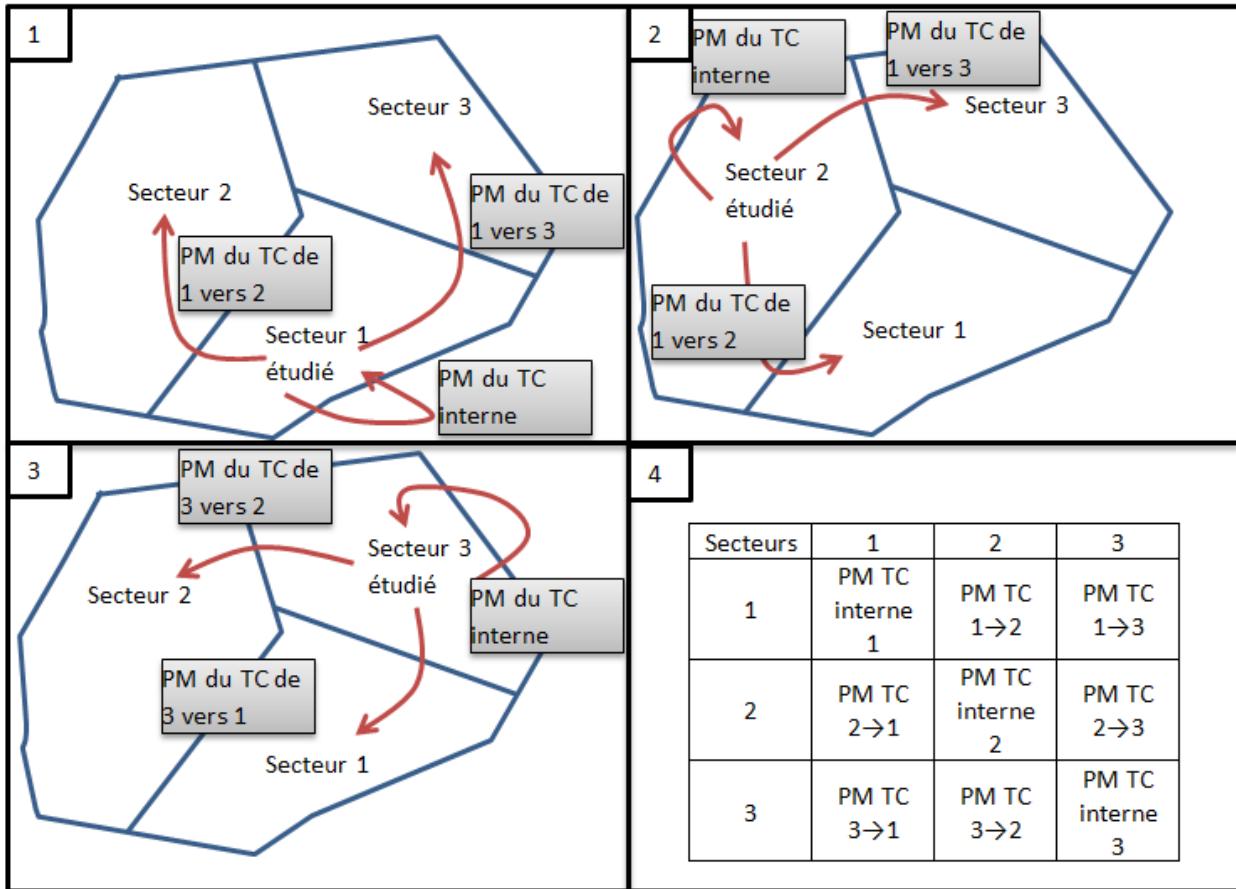
Des zones tampons de 500 m sont tout d'abord créées autour de chaque ménage. On coupe ensuite le réseau routier aux frontières de cette zone tampon. Une somme de la longueur de toutes les routes ainsi coupées est ensuite calculée. Ceci est illustré à Figure 11.



**Figure 11 - Estimation de la longueur du réseau routier aux alentours des ménages**

#### 4.1.3.6 Matrice des parts modales du TC

Une matrice de parts modales observées entre chacune des subdivisions de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 est construite. La part modale ainsi relevée pour chacune des paires de secteurs municipaux est ensuite attribuée à chacun des déplacements de la base de données en fonction de ses secteurs d'origine et de destination. Comme l'illustre la Figure 12, ce calcul est également effectué pour les déplacements internes à un secteur. Chaque déplacement de la base de données Origine-Destination se voit ensuite attribuer la valeur obtenue en fonction de ses secteurs d'origine et de destination.



**Figure 12 - Calcul de la matrice des parts modales du transport en commun entre des secteurs**

#### 4.1.3.7 Passages-arrêts cumulés sur 24h

Les fichiers GTFS de toute la région métropolitaine de Montréal sont utilisés à fin d'extraire la géolocalisation ainsi que le nombre de passages à chaque arrêt sur une période de 24 heures. Une journée de service précisée est choisie et celle-ci est la même pour chaque organisme de transport.

Pour deux sociétés de transport faisant partie du territoire de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 mais ne faisant pas partie de l'AMT (le service de transport en commun de la ville de Saint-Jean-sur-Richelieu et le Transport collectif intermunicipal des Laurentides), les horaires ont été extraits des sites web des organismes puisqu'aucun fichier GTFS n'était disponible pour ceux-ci. Par souci de représenter fidèlement la variable sur une échelle métropolitaine, une géolocalisation manuelle des arrêts a été effectuée et par la suite, le

cumul du nombre de passages a été compté manuellement. Cette stratégie a été privilégiée étant donné le faible nombre de lignes et d'arrêts desservis par ces deux organismes.

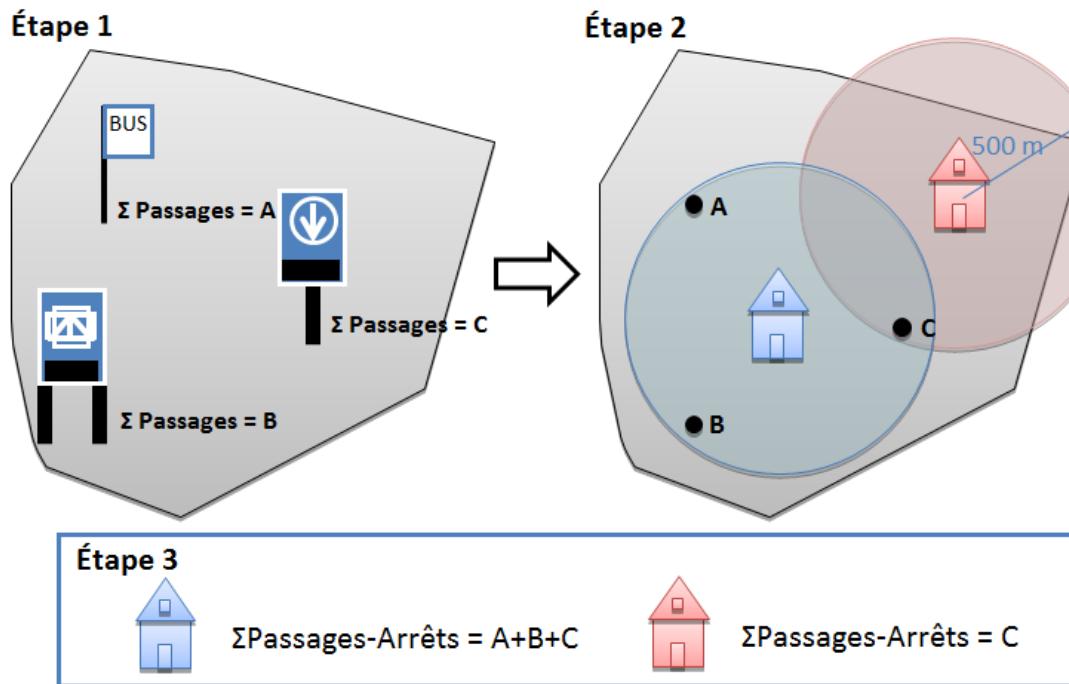
L'estimation de la variable est ensuite faite selon les trois étapes suivantes :

Étape 1 : Pour chaque arrêt de transport en commun dans le territoire, faire la somme du nombre de passages d'un véhicule de transport en commun. Cette somme est effectuée sans considération du mode (bus, métro ou train), de l'organisme de transport qui offre le service et des différentes lignes ou directions.

Étape 2 : Une zone tampon de 500 m est créée au tour de chaque ménage de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008.

Étape 3 : Une sommation des passages à tous les arrêts interceptés par ces zones tampons est alors faite et la valeur obtenue est assignée aux ménages correspondants.

Ce processus est illustré à la Figure 13.



**Figure 13 - Estimation à l'échelle de chaque domicile du nombre de passages-arrêts**

#### 4.1.3.8 Distance

La distance est évaluée pour chaque déplacement en calculant la distance Manhattan entre chaque origine et destination de la base de données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. La distance Manhattan est calculée selon l'Équation 1. La distance Manhattan a été choisie dans une optique où l'ensemble des modes est étudiés.

$$D_{\text{Man}} (\text{m}) = |X_{\text{DEST}} - X_{\text{ORIG}}| + |Y_{\text{DEST}} - Y_{\text{ORIG}}| \quad \text{Équation 1}$$

Où,

$X_{\text{DEST}}$  : la valeur en X de la coordonnée de la destination;

$Y_{\text{DEST}}$  : la valeur en Y de la coordonnée de la destination;

$X_{\text{ORIG}}$  : la valeur en X de la coordonnée de l'origine;

$Y_{\text{ORIG}}$  : la valeur en Y de la coordonnée de l'origine.

La distance Manhattan permet de bien représenter les déplacements de courte distance mais amène de plus grandes distorsions sur des déplacements de longue distance. Ceci fut un choix méthodologique et tout autre choix de distance aurait pu être effectué. Une situation idéale serait telle que les distances seraient calculées en fonction du réseau sur lequel le déplacement a été effectué. Ainsi, un déplacement à pied serait calculé sur le réseau piétonnier, un déplacement à vélo, sur le réseau cycliste, un déplacement automobile sur le réseau routier, etc. Cependant, la codification des réseaux de piétons et cyclistes est souvent partiel et est difficilement disponible. Des outils comme Google Maps incluent de nombreux réseaux mais leur utilisation nécessite une licence d'utilisation. La tendance actuelle semble privilégier les solutions de cartographie et de codification ouvertes et participatives celles-ci ayant toutefois l'avantage d'être modifiables par n'importe qui.

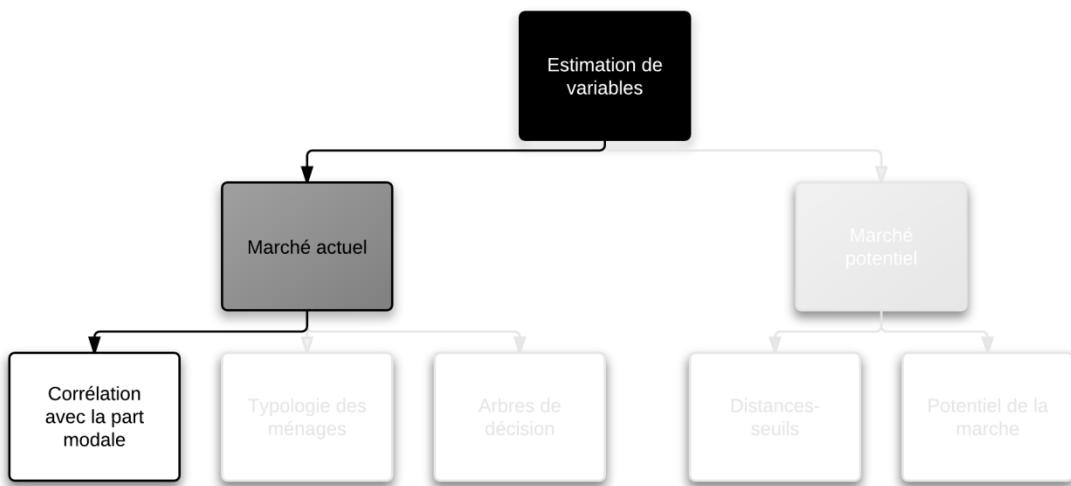
#### 4.1.3.9 Chaînage

Une méthodologie développée par Valiquette (2010) afin d'identifier les entrées de la base de données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Les résultats de cette méthode constituent une base de données donnant des informations sur la typologie des chaînages identifiés.

Une variable binaire (1 ou 0) a été créée pour qualifier les déplacements faisant partie d'une chaîne complexe. Ceci a été fait en croisant les bases de données de déplacements et de chaînes de déplacements.

## 4.2 Observation des corrélations entre les variables estimées et le choix modal

Les variables décrites précédemment ont été mises en relation avec la répartition modale observée dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Cette opération permet de mieux comprendre l'effet qu'a chacune des variables étudiées sur la répartition modale. La position de cette section dans le schéma méthodologique global est présentée à la Figure 14



**Figure 14 - Position de la section sur les corrélations des variables avec la part modale dans le schéma méthodologique global**

Ensuite, chacune de ces variables est mise en relation avec le choix modal observé dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 afin de mieux comprendre l'effet individuel qu'a chacune des variables. Ces analyses sont effectuées en considérant 6 modes issus de la fusion de différents modes contenus dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Le Tableau 10 décrit en détail les modes analysés dans cette section. Les modes vélo et marche sont décrits comme étant purs, car ils n'incluent que des déplacements pour lesquels l'adistance en tre

l'origine et la destination a été parcourue avec ce mode unique et non en combinaison avec un autre mode. Le choix d'avoir ici combiné l'autobus scolaire au transport en commun se justifie par le fait que ces deux modes sont comparables à de nombreux égards, particulièrement lorsque vu sous l'angle de la mobilité durable (véhicules similaires en termes de capacité et de consommation d'énergie, accès à pied à un arrêt, circuit et horaire prédéterminé).

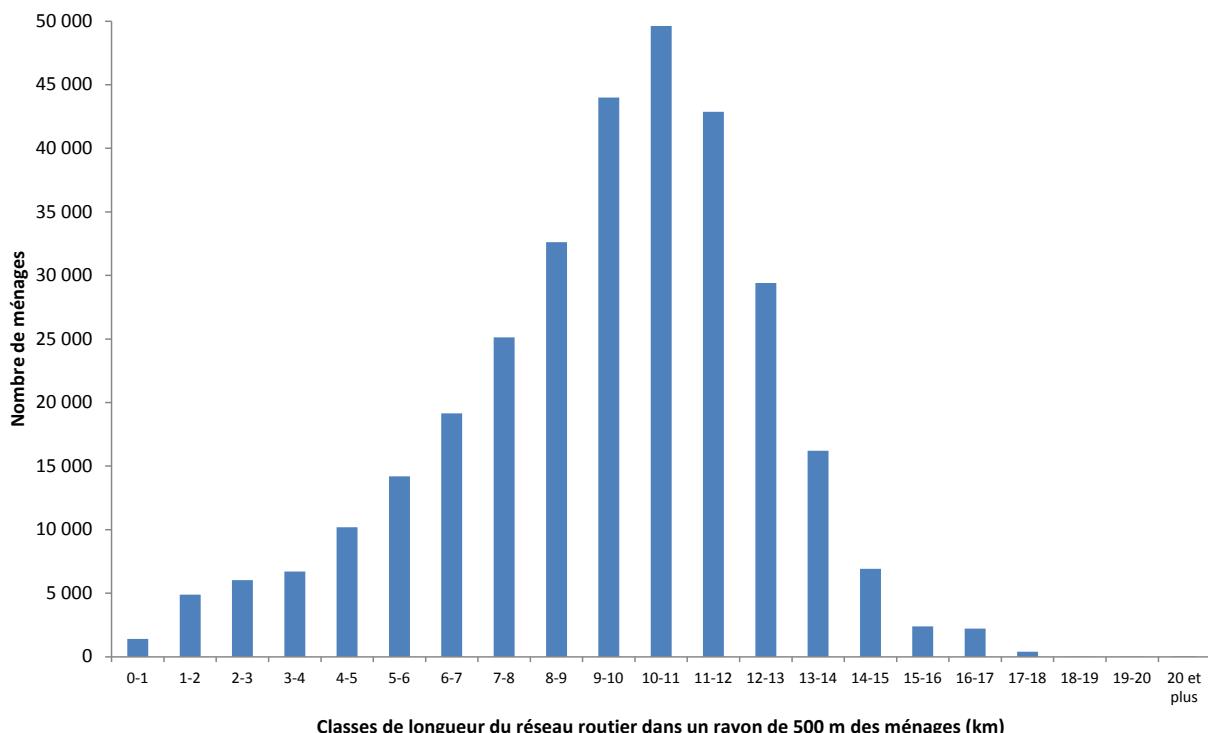
**Tableau 10 - Définition des modes utilisés dans l'analyse de la répartition modale en fonction des variables étudiées**

Dénomination du mode	Modes inclus
Transport en commun (TransComm)	Transport en commun Autobus scolaire
Autre	Utilisation d'un stationnement incitatif ( <i>Park and ride</i> ) Utilisation d'un débarcadère ( <i>Kiss and ride</i> ) Taxi Autres
Automobile passager (AutoPass)	Automobile passager
Automobile conducteur (AutoCond)	Automobile conducteur
Vélo	Trajets à vélo purs
Marche	Trajets à pied purs

Cette analyse n'informe toutefois pas de la magnitude à laquelle ces variables influencent le choix modal mais elle permet à tout le moins de comprendre les tendances selon lesquelles ces variables influencent la répartition modale.

#### 4.2.1 Longueur du réseau routier

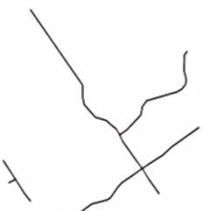
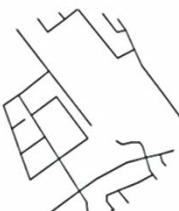
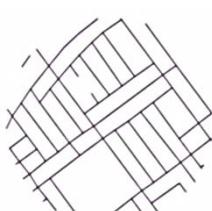
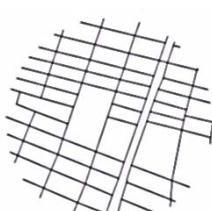
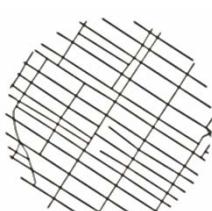
L'estimation de la longueur du réseau routier a été effectuée selon la méthodologie décrite à la section 4.1.3.5 et celle pour l'échantillon de ménages sondés de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. La distribution des données, montrée à la Figure 15, suit une distribution normale légèrement étalée vers la gauche.



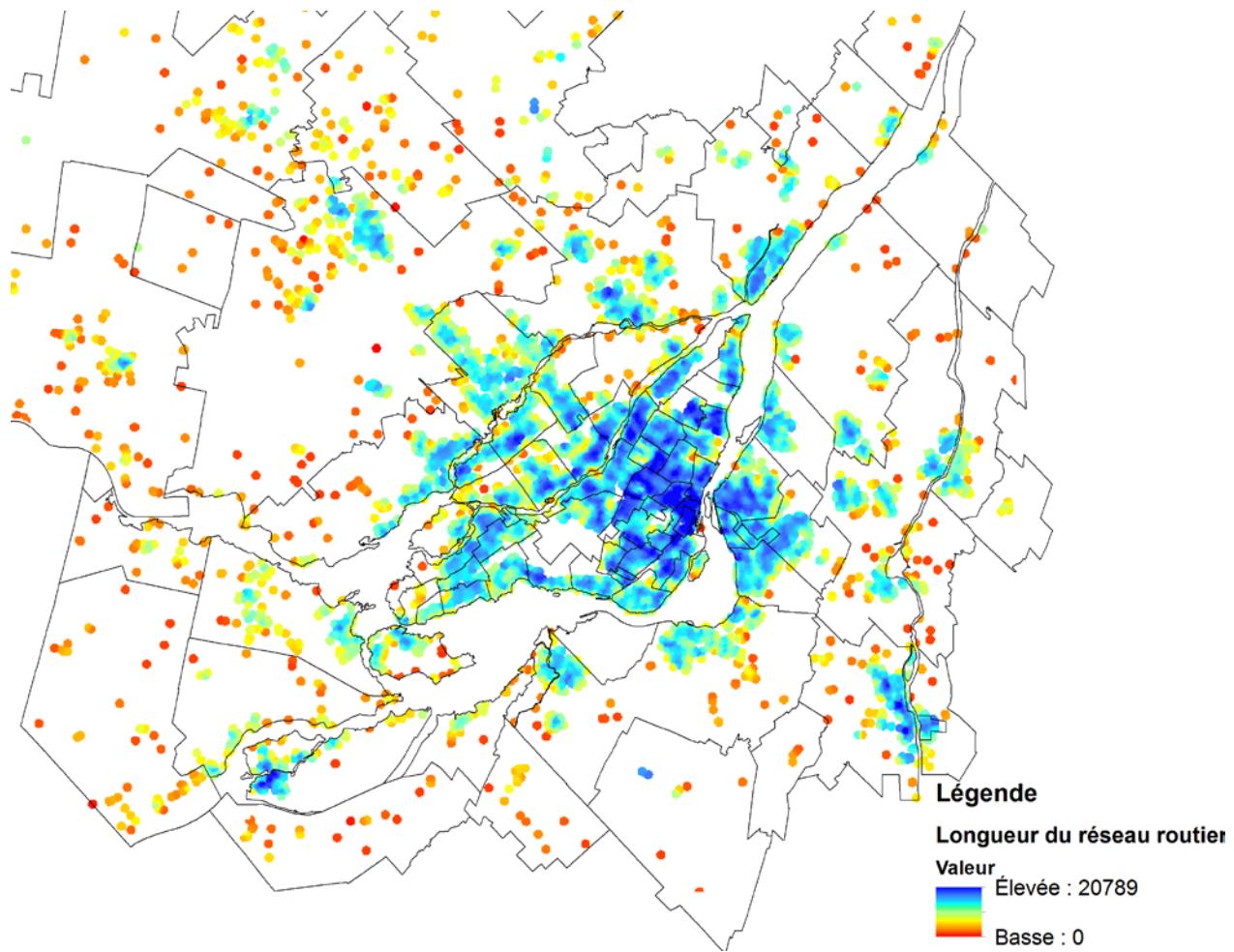
**Figure 15 - Distribution de la variable longueur du réseau routier dans le voisinage des ménages (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008, Recensement de 2006)**

Afin de mieux visualiser la variable « longueur du réseau routier », six domiciles ont été choisis à des densités de réseau routier croissantes, afin de montrer comment cette variable se manifeste. Ceci est montré au Tableau 11. On peut y remarquer que les domiciles dont le réseau routier les entourant est inférieur à 3000 m correspondent plus ou moins à des secteurs ruraux. Par la suite, à mesure que la longueur du réseau routier entourant le domicile augmente, on note l'intensification de l'urbanisation qui semble, dans le cas présent, converger vers un aménagement de type quadrillage serré.

**Tableau 11 - Illustration de la longueur du réseau routier des alentours de six domiciles  
(Enquête Origine-Destination de Montréal 2008, Recensement de 2006)**

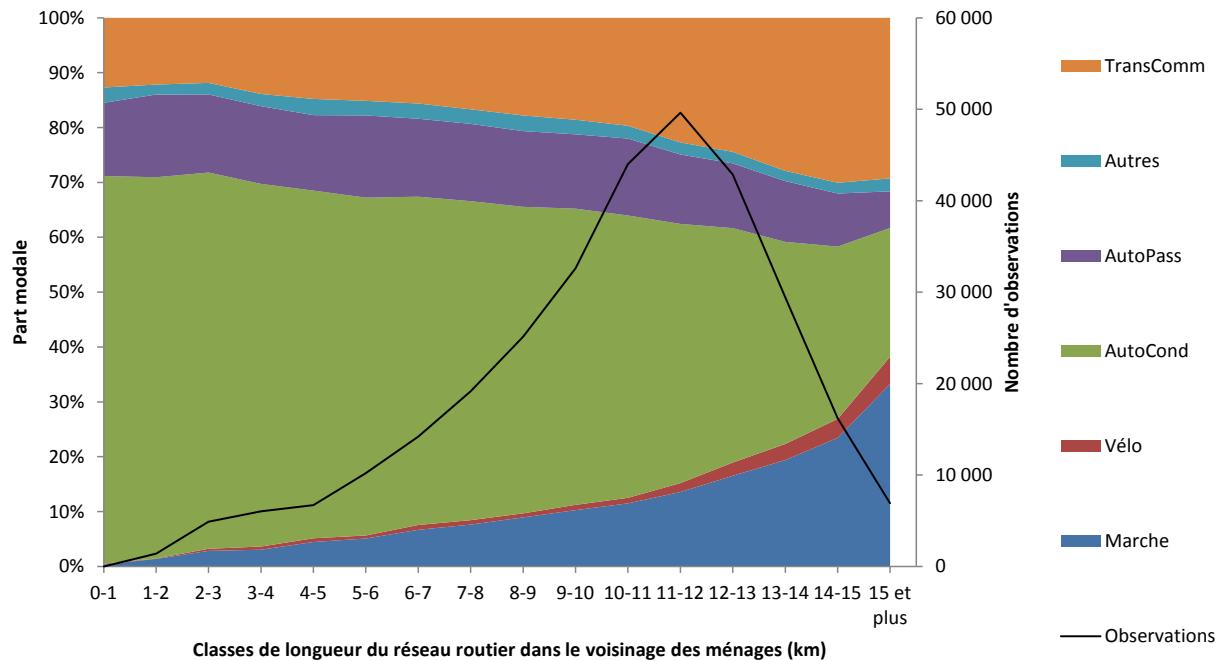
0 – 2 999 m	3 000 – 5 999 m	6 000 – 8 999 m
		
9 000 – 11 999 m	12 000 – 14 999 m	15 000 m et plus
		

Les résultats de l'estimation à l'échelle métropolitaine ont une dispersion spatiale montrant des domiciles sis dans des quartiers aux réseaux routiers plus denses au centre-ville, mais également, dans certains coeurs de villes périphériques. Les domiciles sont ensuite situés dans des lieux aux réseaux routiers beaucoup moins denses à mesure qu'ils sont éloignés de ces coeurs denses. La carte de dispersion spatiale de la longueur du réseau routier aux alentours des ménages montrée à la Figure 16 illustre ceci.



**Figure 16 - Dispersion spatiale de la longueur du réseau routier aux alentours des domiciles  
(Enquête Origine-Destination de Montréal 2008, Recensement de 2006)**

Les valeurs estimées pour cette variable ont ensuite été normalisées en fonction de la moyenne et l'écart-type de la distribution afin de créer des classes de valeurs à discréteriser. Ces classes de longueurs du réseau routier ont été mises en relation avec le choix modal observé dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Ceci est montré à la Figure 17.

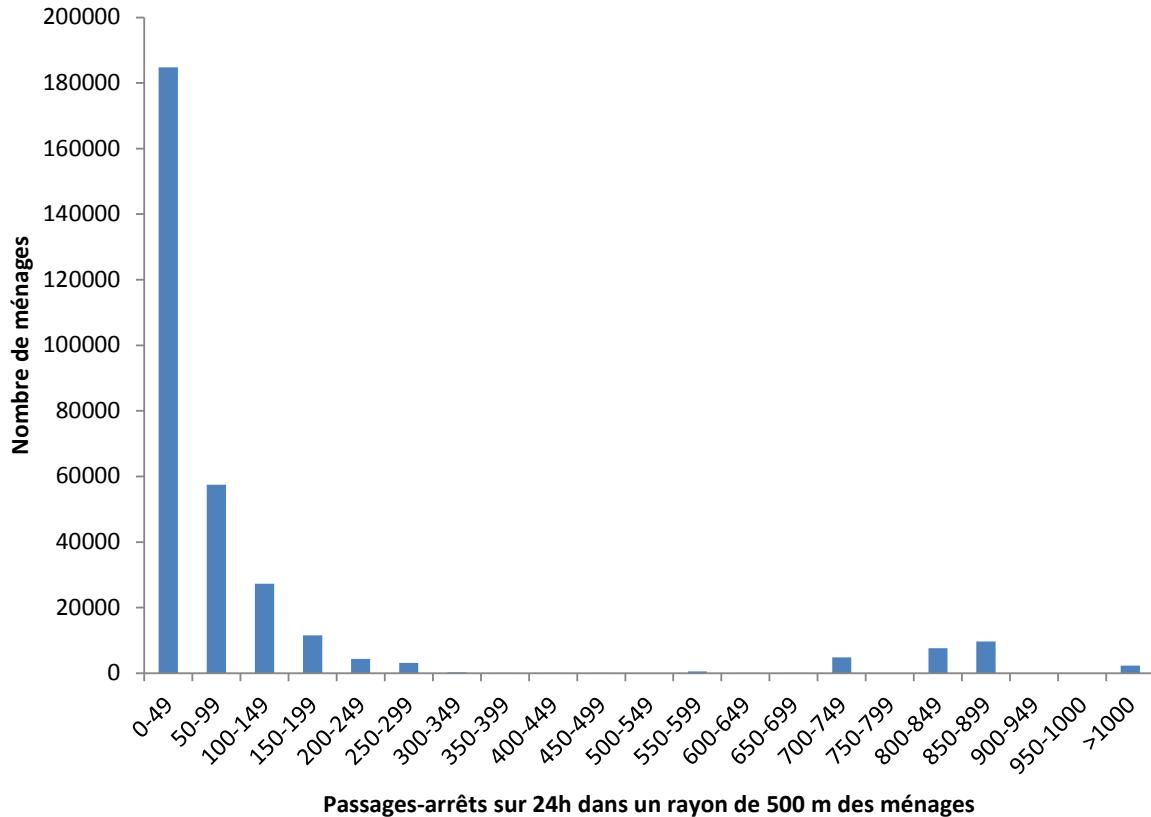


**Figure 17 - Répartition modale en fonction de la longueur du réseau routier**

L’augmentation de la longueur du réseau routier aux alentours d’un domicile vient faire diminuer les parts modales de l’automobile que ce soit en mode conducteur ou passager. Il vient inversement augmenter la part modale des autres modes considérés (Marche, Vélo et Transport en commun). On remarque que l’effet qu’a la longueur du réseau routier sur la part modale est particulièrement notable à partir de 12000 m.

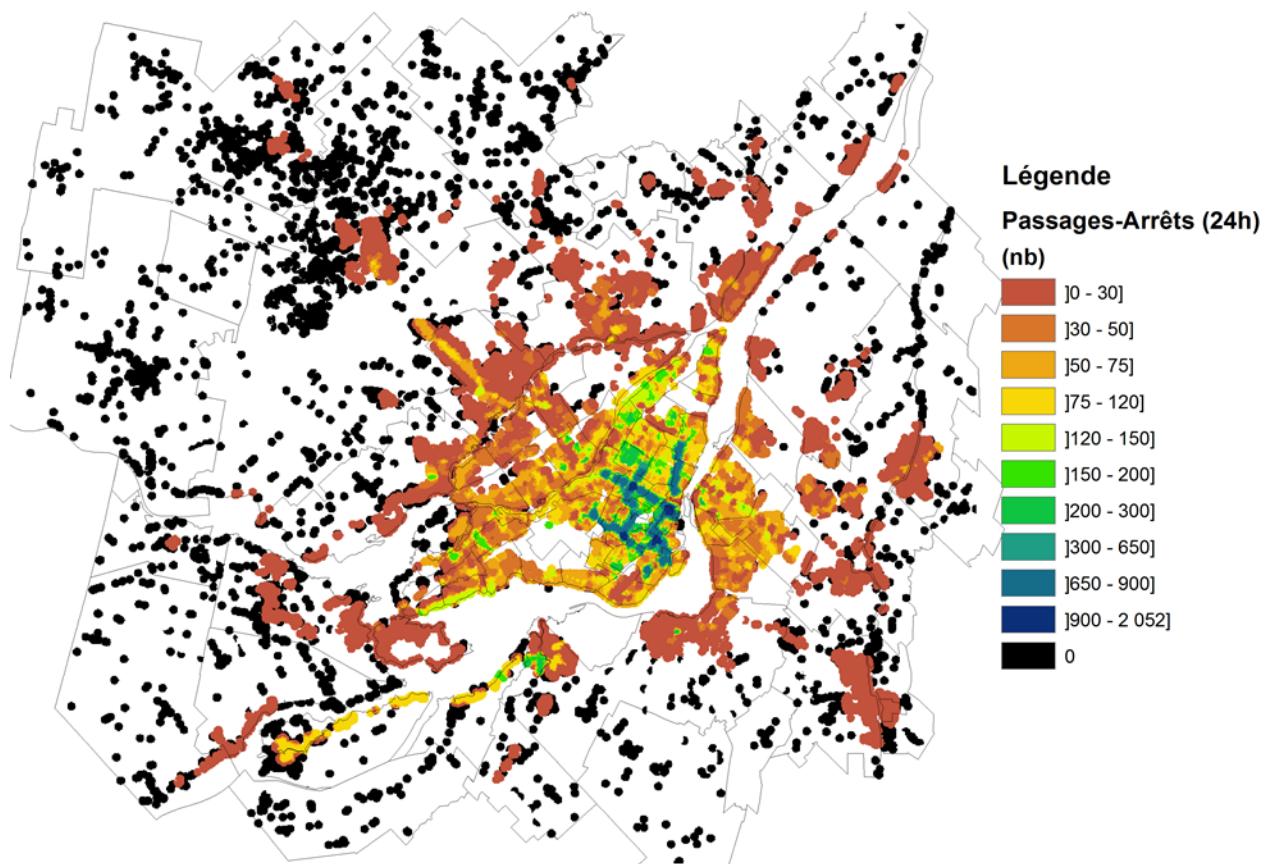
#### 4.2.2 Passages-arrêts de transport en commun sur 24 heures

L’estimation du nombre de passages-arrêts sur 24h a été effectuée selon la méthodologie décrite à la section 4.1.2.7 précédente. La journée d’analyse est un lundi d’automne 2011. La distribution des valeurs estimées pour chacun des ménages montre une distribution décroissante et affichant un groupe de données qui se détache de la distribution vers des valeurs supérieures. Celle-ci est illustrée à la Figure 18.



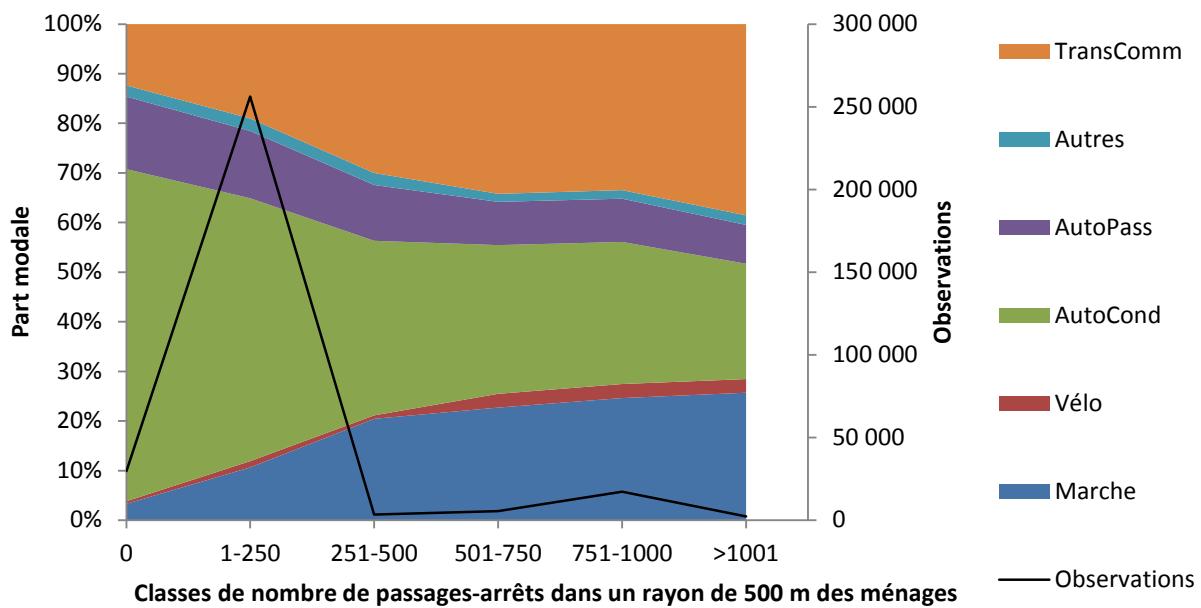
**Figure 18 - Distribution du nombre de passages-arrêts aux alentours des ménages**

La distribution spatiale des données est illustrée à la Figure 19. On remarque que le réseau de métro s'y distingue clairement (en bleu sur la carte). On remarque de plus que le second groupe de la distribution, situé entre 700 et 900 passages-arrêts, correspond à ces zones bleues. Ce deuxième groupe affiche des fréquences très élevées car la fréquence de passage du métro est très élevée par rapport à un service d'autobus. À ceci s'ajoute également le réseau d'autobus de rabattement vers les stations de métro qui vient faire augmenter le nombre de passages-arrêts.



**Figure 19 - Distribution spatiale des passages-arrêts sur 24 h**

Les valeurs estimées pour cette variable ont ensuite été normalisées en fonction de la moyenne et l'écart-type de la distribution afin de créer des classes de valeurs à discréteriser.



**Figure 20 - Répartition modale en fonction de la densité de passages-arrêts sur 24h**

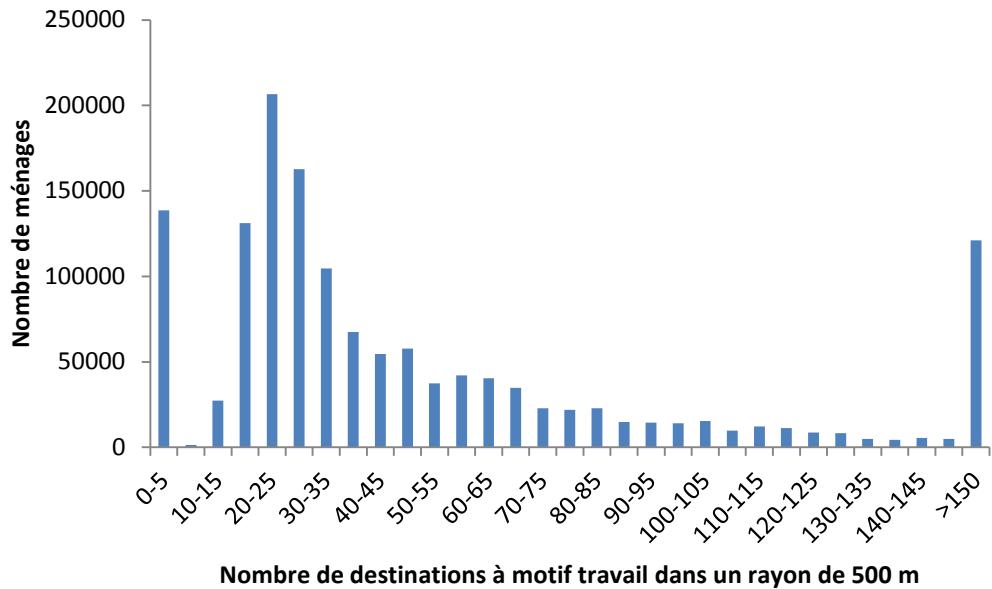
L'augmentation du nombre de passages-arrêts sur 24 heures est corrélée avec une diminution de la part modale de l'automobile (tant en mode passager que conducteur). Les modes Marche et Transport en commun affichent une augmentation de leur part modale à mesure que le nombre de passages-arrêts augmente. La tendance associée avec la part modale du vélo est plus équivoque : elle correspond avec une augmentation pour la plupart des classes de passages-arrêts excepté pour la classe regroupant les valeurs entre 350 et 599 passages-arrêts où la tendance à la hausse est rompue par une légère diminution de la part modale par rapport à la précédente.

On peut bien sûr expliquer ceci par le fait que l'utilisation du vélo n'est pas nécessairement de manière directe avec l'augmentation de la fréquence de passage des véhicules de transport en commun.

#### 4.2.3 Densité d'emplois

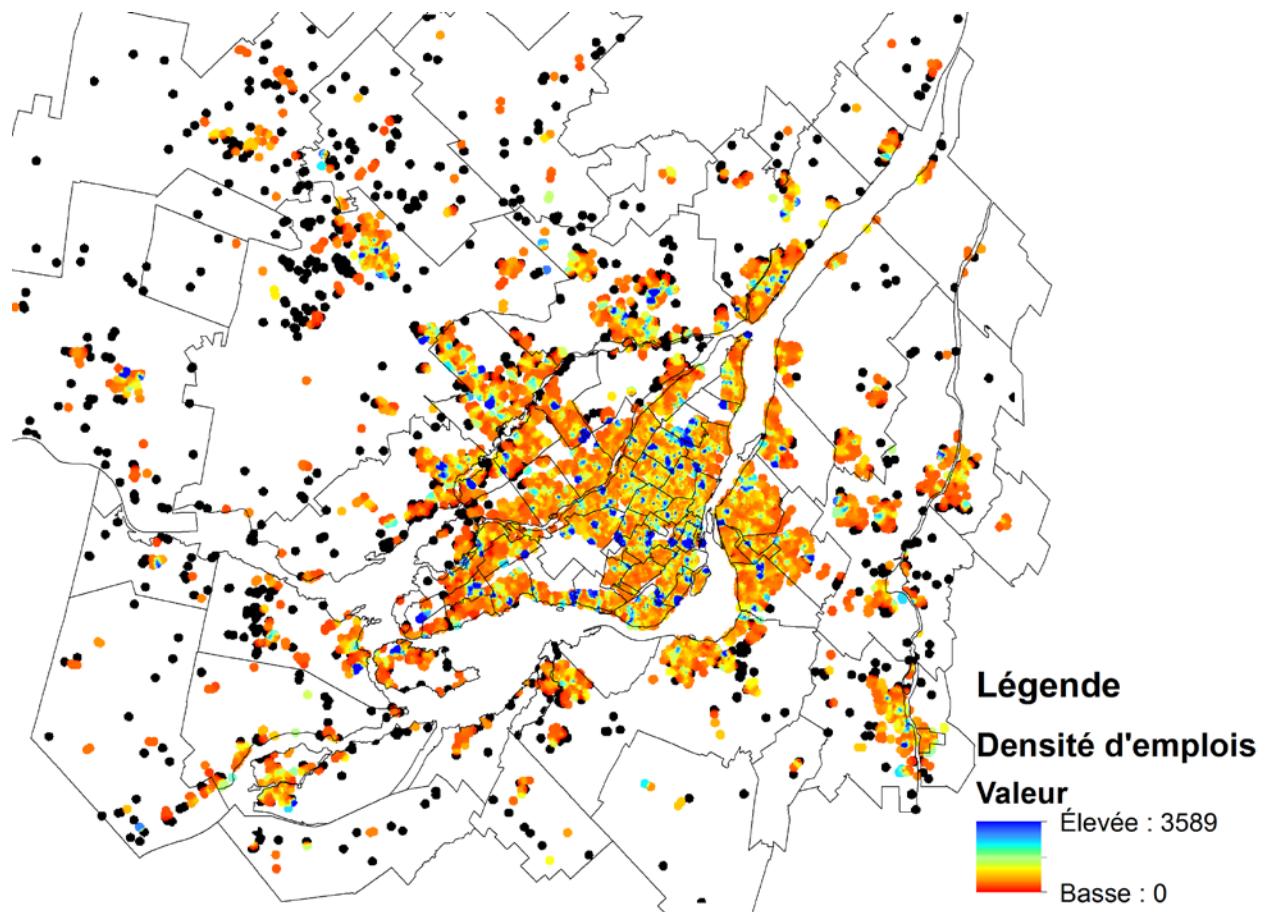
La densité d'emplois a été estimée en sommant les estimations à motif travail aux alentours de chaque ménage de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, tel que décrit à la section 4.1.2.3. La distribution des valeurs a ainsi été estimée et présentée à la Figure 21. On y remarque que la distribution est étalée vers les valeurs supérieures. Un nombre très important de

ménages n'ont aucune destination à motif travail dans leur voisinage ce qui crée une large fréquence dans la classe inférieure.



**Figure 21 - Distribution des valeurs de destinations à motif travail dans le voisinage des ménages**

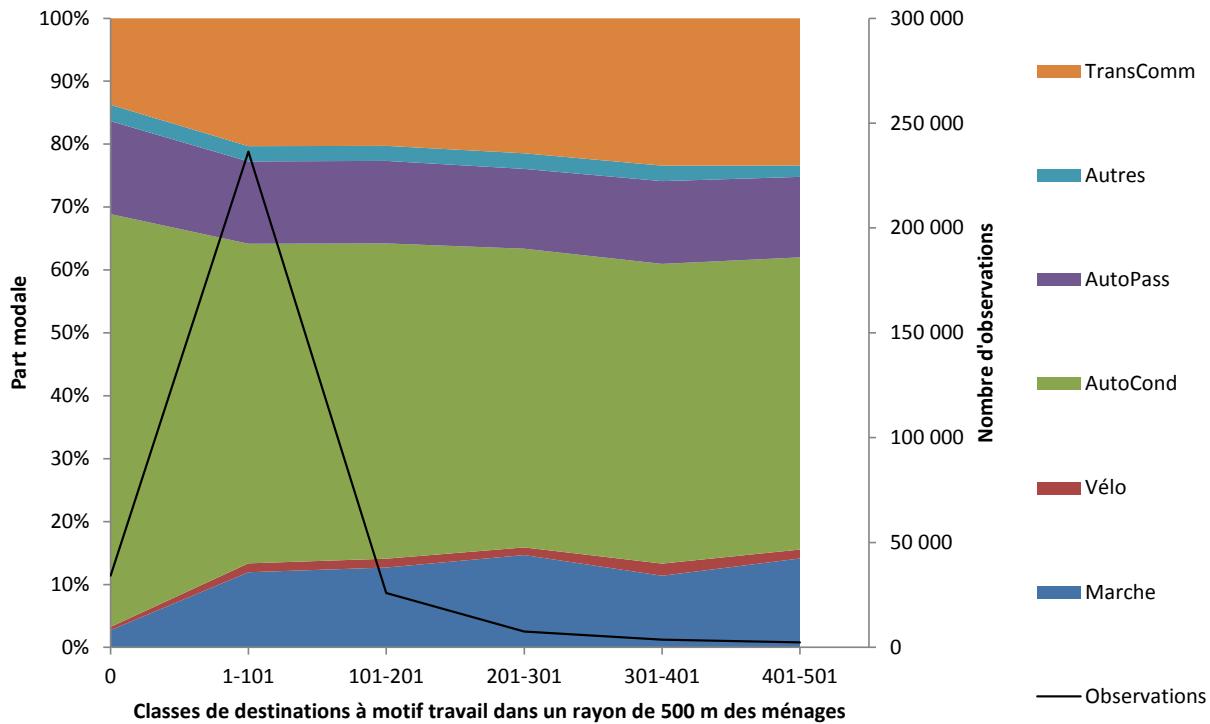
La distribution spatiale de la densité d'emplois, illustrée à la Figure 22, ne montre pas de tendances très marquées. On y remarque cependant plusieurs pôles d'emplois étalés. Le centre-ville ne se démarque pas de manière significative du reste des secteurs à forte densité d'emplois. Notons toutefois que la méthodologie employée évalue la densité d'emplois au niveau d'un rayon de 500 m autour des ménages; le centre-ville étant faiblement habité, le fait qu'un nombre très élevé d'emplois s'y retrouve s'y transpose peu à ce niveau d'analyse.



\*la couleur noire représente une densité de 0.

**Figure 22 - Distribution spatiale de la variable densité d'emplois**

La mise en corrélation de la densité d'emploi avec la répartition modale observée dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 est présentée à la Figure 23. La relation semble montrer une très forte part modale pour l'automobile dans les secteurs où le nombre d'emplois est faible dans le voisinage des ménages. Après un certain seuil toutefois, la part modale de l'automobile diminue et reste stable.

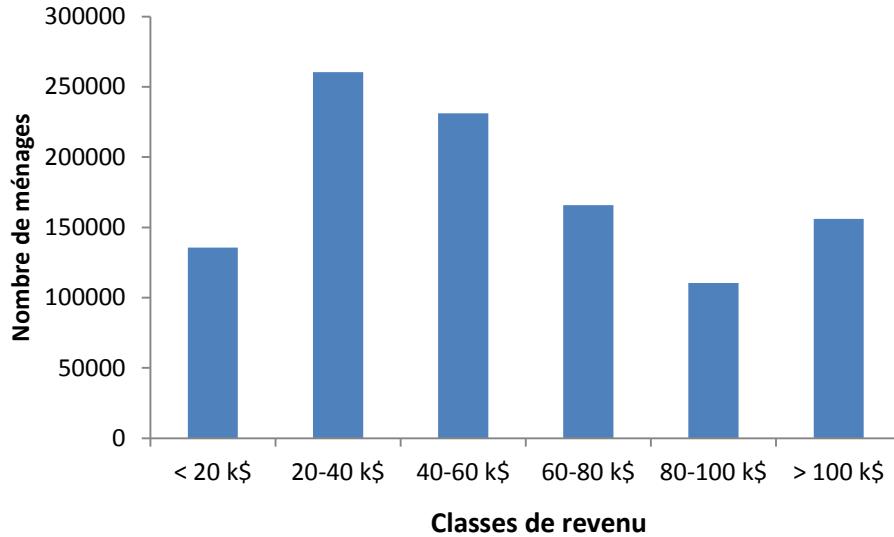


**Figure 23 - Répartition modale en relation avec la variable densité d'emplois**

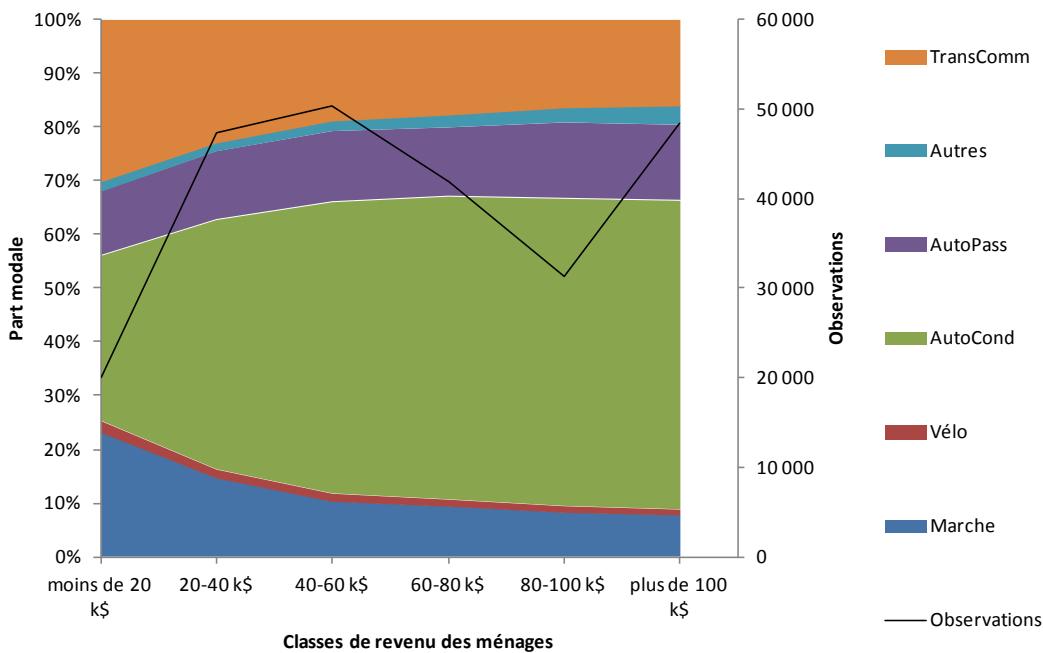
#### 4.2.4 Revenu du ménage et revenu disponible moyen

Le revenu des ménages est extrait directement de la base de données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 en omettant toutefois les valeurs correspondant à des refus ou des répondants ayant déclaré ne pas avoir le revenu de leur ménage. La Figure 24 montre la distribution des ménages selon le revenu qu'ils ont déclaré dans l'Enquête.

Tel qu'indiqué à la Figure 25, les ménages ayant un revenu plus élevé ont une plus forte tendance à utiliser l'automobile comme mode de transport. Les ménages plus riches ont également davantage tendance à effectuer des déplacements bimodaux (automobile et transport en commun).



**Figure 24 - Distribution de la variable revenu des ménages**

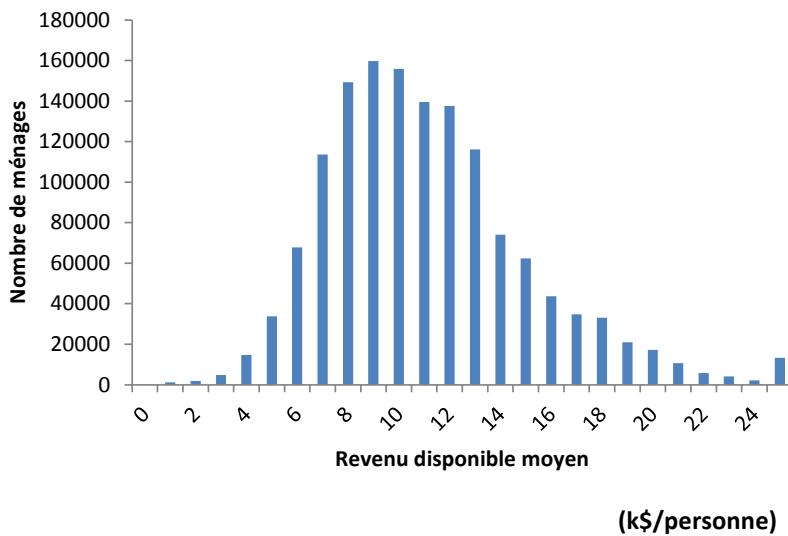


**Figure 25 - Répartition modale en fonction de la variable revenu (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

Afin de mieux représenter les effets liés aux caractéristiques des ménages sur la variable revenu, il sera intéressant de considérer le revenu disponible du ménage, c'est-à-dire, le revenu brut du ménage divisé par le nombre de personnes dans le ménage. En d'autres mots, il s'agit de diviser le revenu brut du ménage par le nombre de personnes le composant pour obtenir un

revenu par personne. Ceci permet de mieux considérer la capacité financière de différents ménages qui, pour le même revenu, seraient composés d'une personne seule, par rapport à une famille avec 4 enfants. Cette méthode a été choisie pour sa simplicité d'utilisation, mais d'autres définitions plus détaillées considérant des pondérations selon le rôle (parent, enfant) au sein du ménage peuvent être envisagées.

Cette variable a ensuite été calculée selon une valeur moyenne dans une zone tampon de 500 m dans le voisinage de chaque ménage de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Encore une fois, seuls les ménages ayant déclaré un revenu ont été considérés. La distribution observée de la variable revenu disponible moyen est présentée à la Figure 26.



**Figure 26 - Distribution de la variable revenu disponible moyen**

La distribution suit une forme normale avec un faible étalement vers les valeurs supérieures. La moyenne se situe autour de 10 k\$/personne. La Figure 27 et la Figure 28 montrent quant à elles, la dispersion spatiale des variables revenu et revenu disponible moyen. On peut voir que le revenu disponible moyen permet de tenir compte du nombre de personnes dans les ménages et ainsi mieux représenter le niveau d'aisance financière du ménage. On verra donc les ménages des banlieues, généralement de type familiaux, obtenir des valeurs moins élevées et les ménages du centre-ville ressortent comme étant ceux avec les personnes les plus riches sur une base individuelle. Le reste des analyses sera donc effectué en utilisant le revenu disponible moyen.

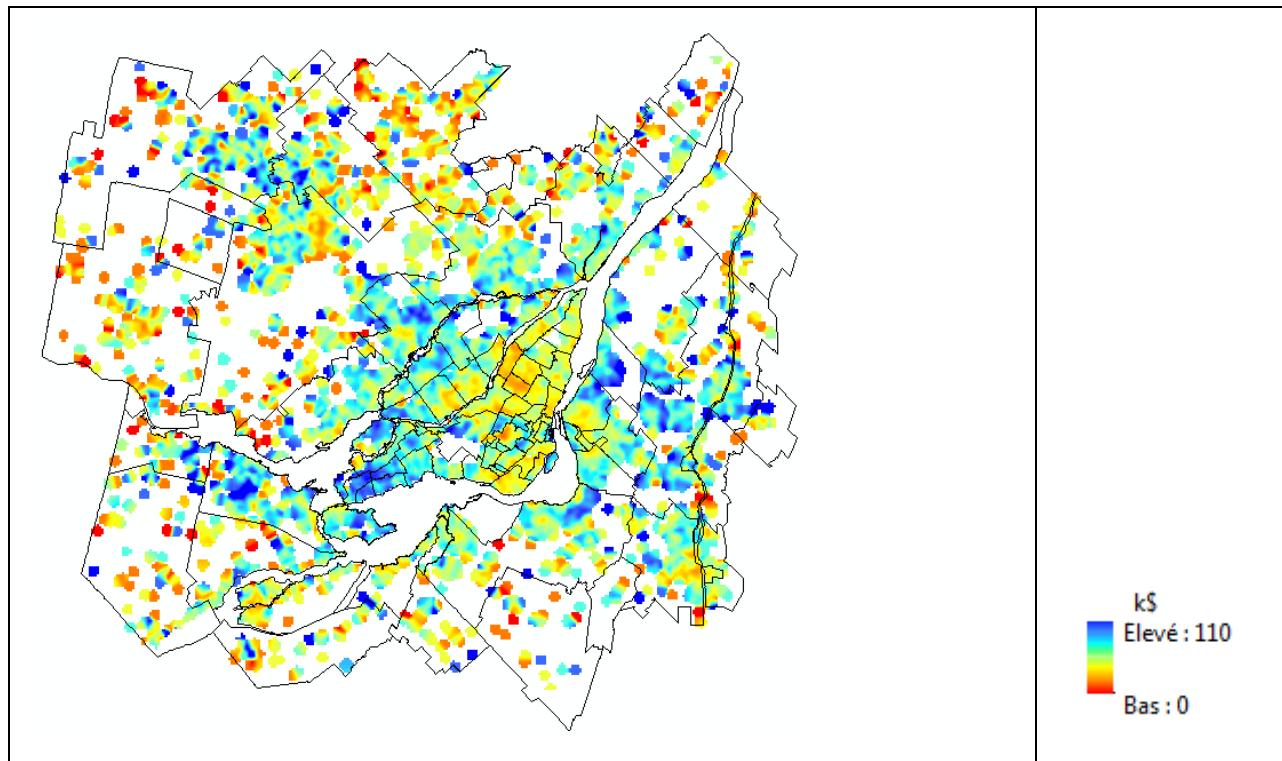


Figure 27 - Dispersion spatiale de la variable revenu (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)

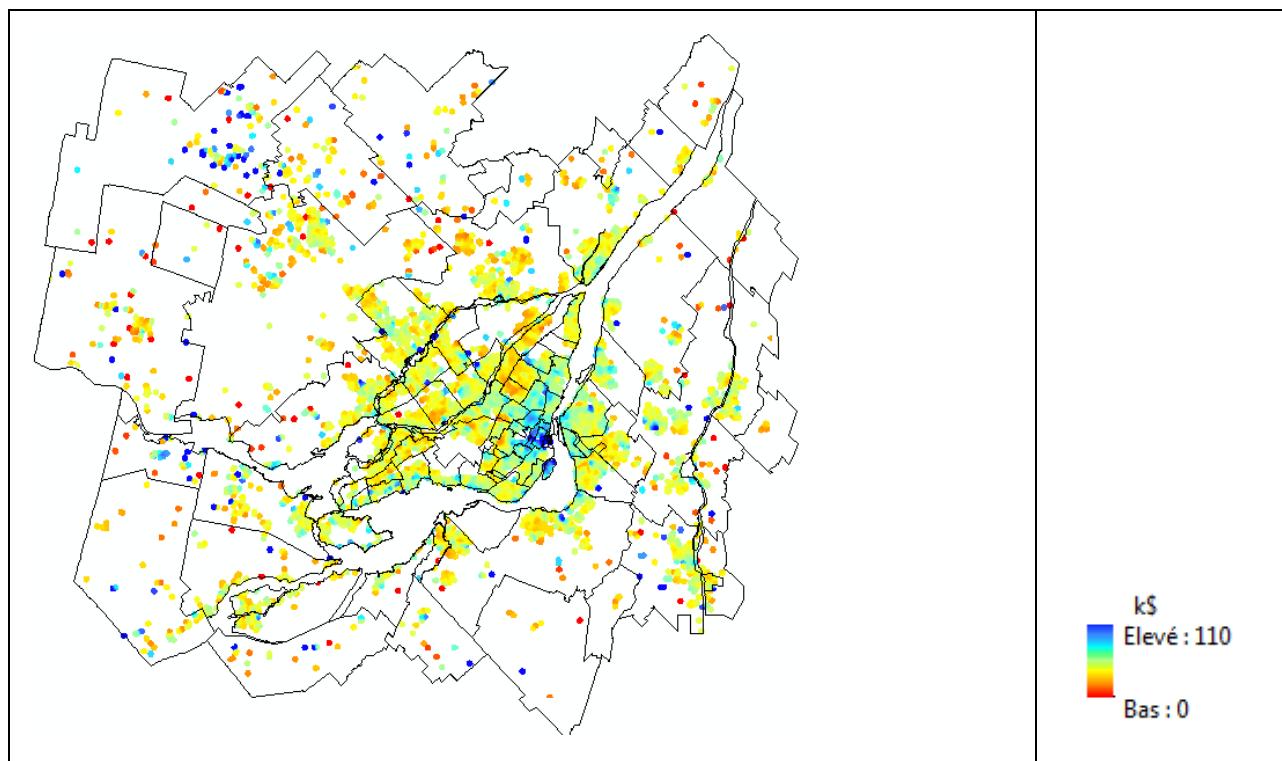
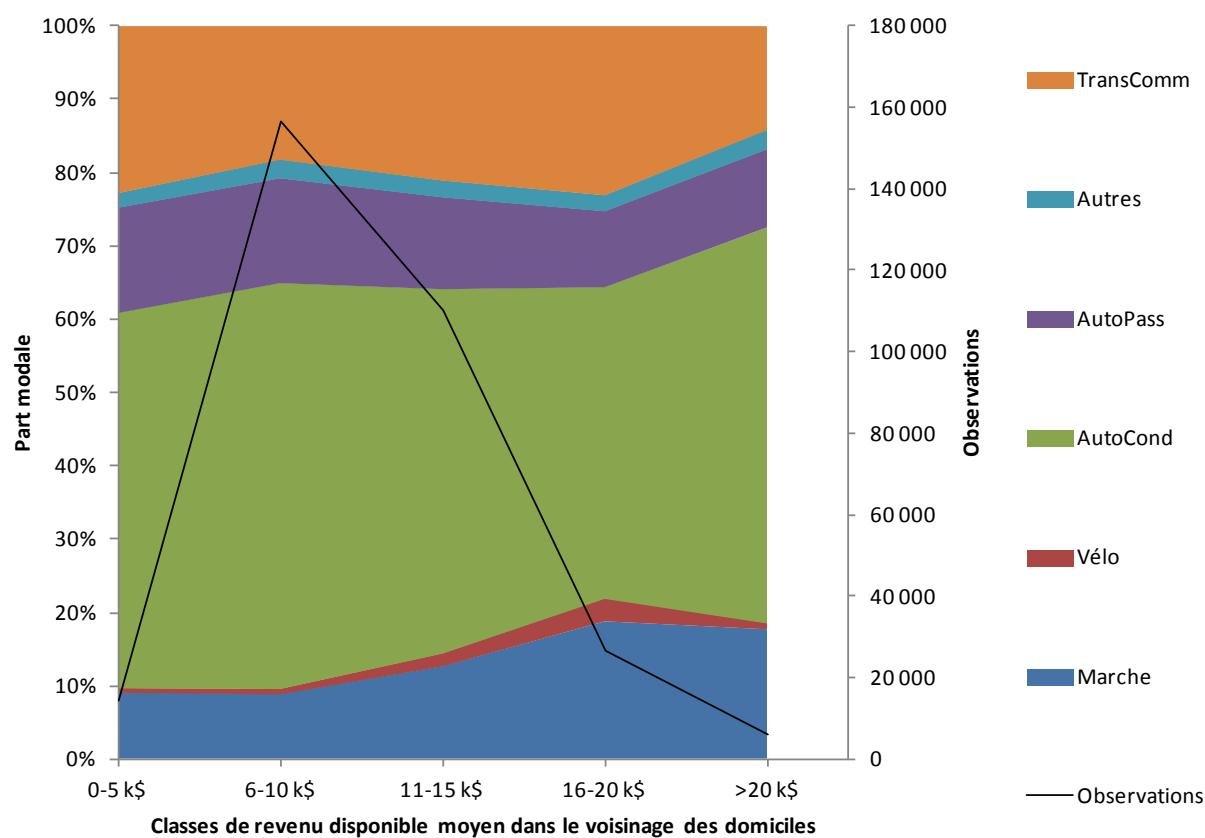


Figure 28 - Dispersion spatiale de la variable revenu disponible moyen, évaluée au niveau du voisinage (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)

La mise en relation de la variable revenu disponible avec la répartition modale, montrée à la Figure 29, n'est pas sans équivoque. En effet, elle ne se compare pas à celle de la variable revenu, ne tenant pas compte du nombre de personnes dans le ménage.

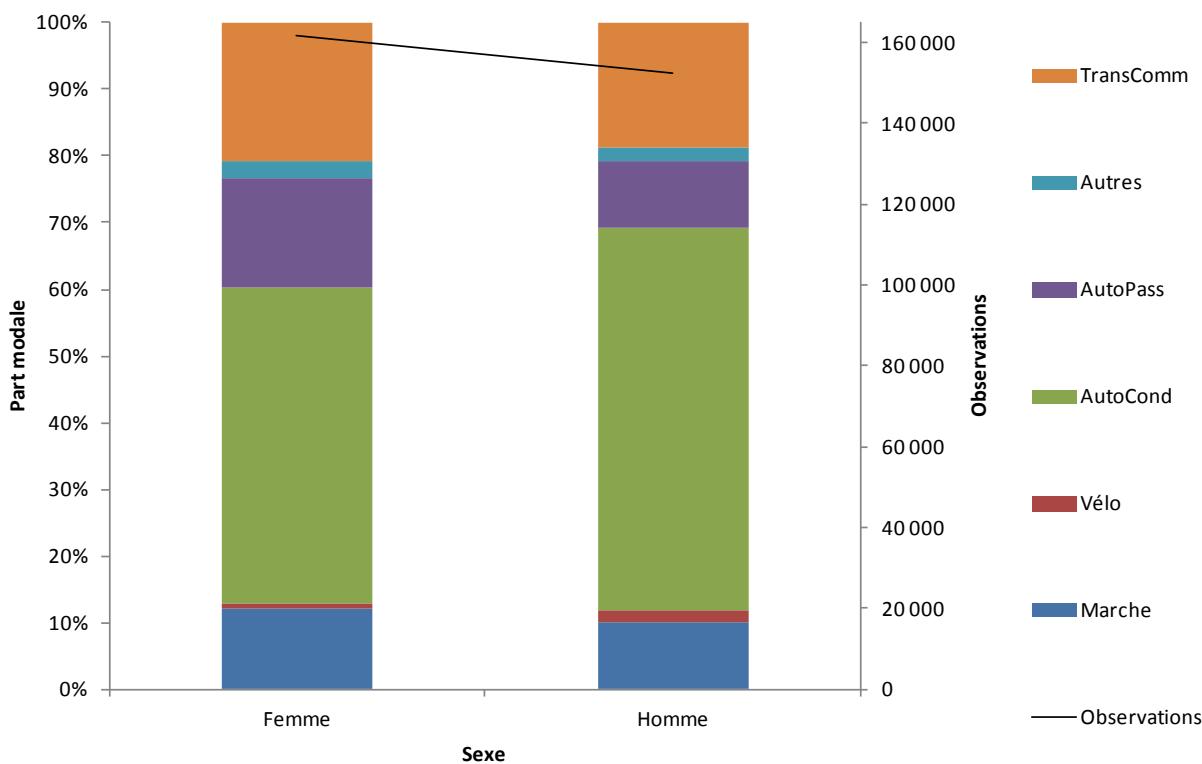
Il semble en effet y avoir plusieurs tendances qui s'entrecoupent pour donner un portrait complexe. Un premier constat étonnant est de remarquer que les ménages les plus riches observent la plus forte utilisation de la marche. Cependant, la répartition spatiale montre aussi que les ménages les plus riches sont situés au centre-ville, donc dans des milieux très denses et *Marchables*.



**Figure 29 - Répartition modale en fonction de la variable revenu disponible moyen**  
**(Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

#### 4.2.5 Sexe

L'observation des répartitions modales selon le sexe des personnes montre des différences quant aux habitudes modales. En effet, comme le montre la Figure 30, les hommes ont plus tendance à conduire une automobile ou un vélo que les femmes. D'autre part, les femmes sont plus souvent passagères d'une voiture et sont plus enclines que les hommes à utiliser le transport en commun ou la marche.



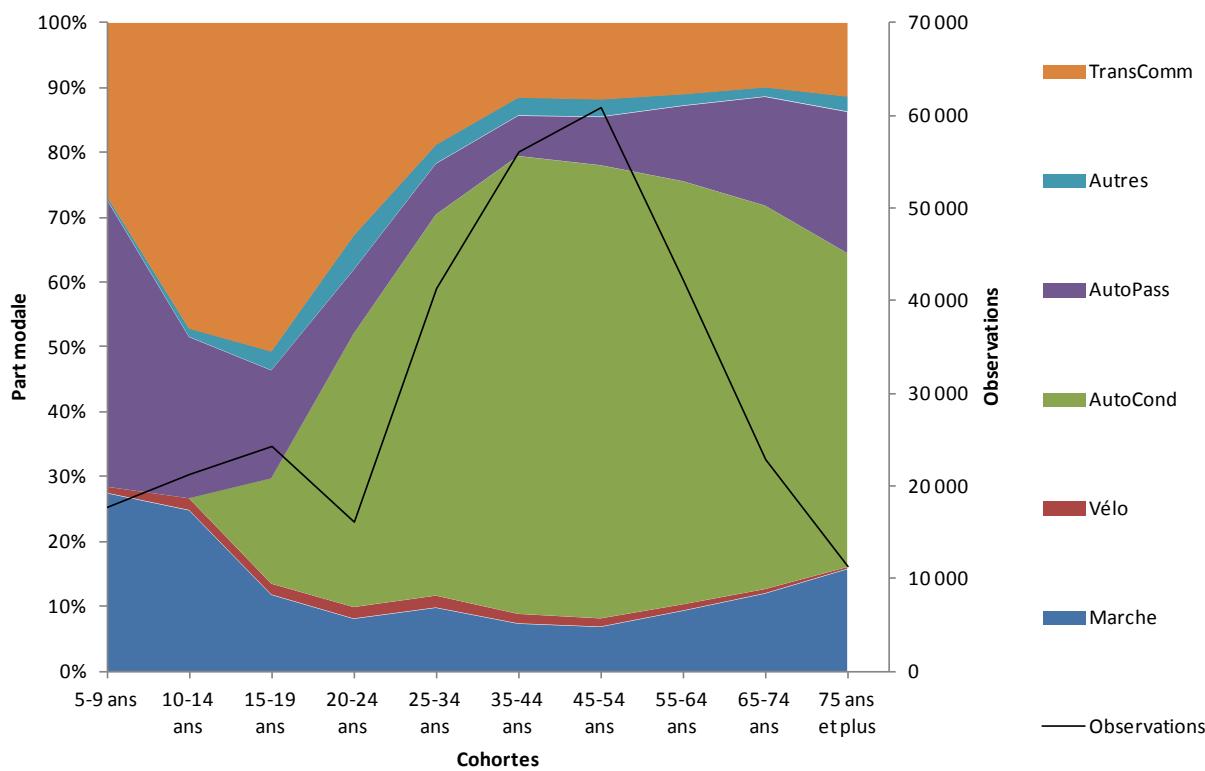
**Figure 30 – Répartition modale selon le sexe (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

#### 4.2.6 Âge

L'âge amène des différences bien marquées entre les différentes cohortes en ce qui a trait à leur choix modal. L'âge d'une personne influe d'une part sur sa capacité à utiliser un mode de transport et d'autre part, sur sa propension à utiliser un mode.

Toute personne étant plus jeune qu'e 16 ans ne peut obtenir un permis de conduire et compte tenu du processus d'acquisition du permis, les personnes âgées de moins de 17 ans ne

peuvent pas, de manière générale, conduire un véhicule seuls. Il en résulte donc que, tel que montré à la Figure 31, les cohortes plus jeunes que 16 ans affichent une part modale nulle pour l'automobile conducteur et subséquemment, des parts modales pour la marche, le transport en commun et l'automobile passager très importantes. De 15 à 44 ans, les parts modales du transport en commun, de la marche et de l'automobile passager diminuent constamment au profit de l'automobile conducteur. À partir de 45 ans, la part modale de l'automobile conducteur diminue au profit de l'automobile passager et de la marche alors que la part modale du transport en commun reste stable.

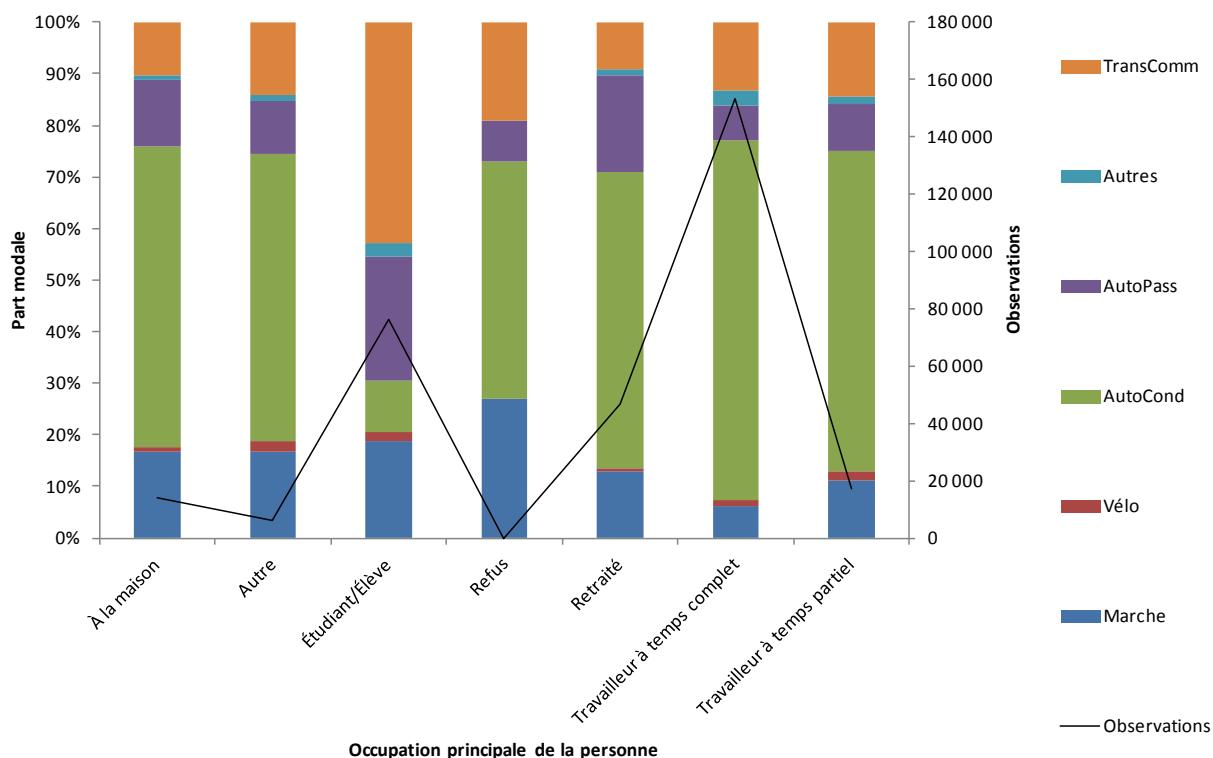


**Figure 31 - Relation entre le choix modal et la cohorte d'âge (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

#### 4.2.7 Occupation principale

L'occupation principale d'une personne est liée avec différentes pratiques modales. En effet, tel que montré à la Figure 32, les personnes ayant un statut de retraité, restant à la maison ou autre ont des répartitions modales similaires. Les travailleurs à temps plein et à temps partiel ont également une répartition modale similaire avec une prépondérance un peu plus marquée de

l'automobile et une pratique un peu moins fréquente de la marche par rapport aux trois statuts invoqués précédemment. Les refus montrent une utilisation relativement faible de l'automobile compensée par une forte utilisation de la marche. Finalement, les élèves se démarquent par leur utilisation de l'automobile conducteur marginale, un nombre important de déplacements automobiles passager et une très fréquente utilisation du transport en commun. Il est à noter que les travailleurs sont vastement majoritaires dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008.



**Figure 32 - Répartition modale pour différentes occupations principales (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

#### 4.2.8 Accès à l'auto

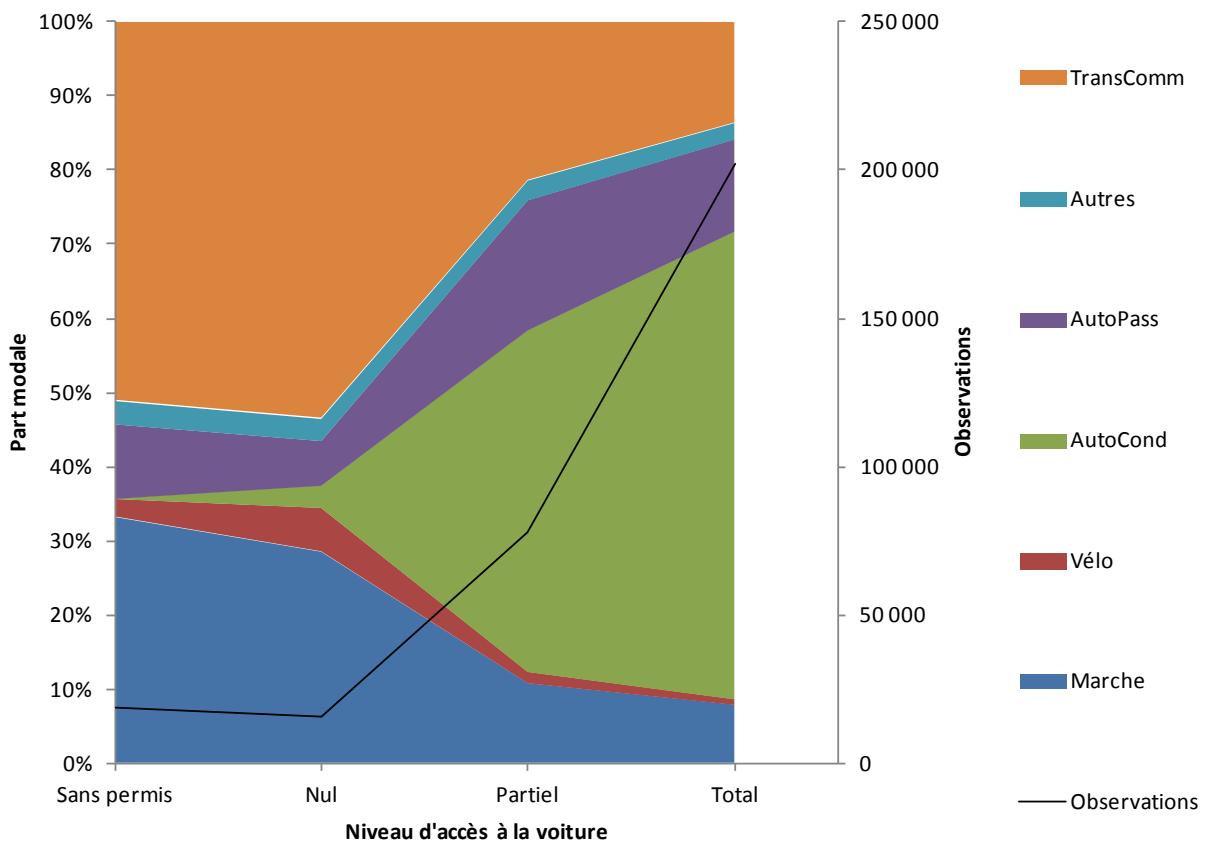
La variable accès à l'auto, lorsque mise en relation avec le choix modal observé, montre clairement que l'accès facile à une automobile amènera une utilisation plus fréquente de celle-ci. En effet, tel que montré à la Figure 32, les personnes sans permis de conduire n'auront évidemment pas recours à l'automobile comme mode de transport mais utiliseront la marche et le

transport en commun dans de fortes proportions ainsi qu'une utilisation de l'automobile comme passager dans une plus faible mesure.

Les personnes détenant un permis de conduire mais n'ayant pas accès à une voiture afficheront une utilisation marginale de l'automobile comme conducteur et une forte utilisation du transport en commun alors qu'en effet leur utilisation de la marche et de l'automobile comme passager est un peu moins fréquente que pour celles ne détenant pas de permis de conduire. Les personnes détenant un permis mais n'ayant pas accès à une voiture sont aussi les plus enclines à utiliser la bicyclette comme mode de transport.

Les personnes ayant partiellement accès à une voiture, c'est-à-dire que leur ménage contient davantage de conducteurs que de voitures, affichent une utilisation marquée de l'automobile comme conducteur et ce, au détriment du transport en commun, du vélo et de la marche. Leur utilisation de l'automobile comme passager est cependant la plus forte parmi les quatre groupes.

Finalement, les personnes jouissant d'un accès total à l'automobile, c'est-à-dire qu'il y autant (ou plus) de voitures que de conducteurs au sein de leur ménage, affichent une très forte utilisation de l'automobile comme conducteur. Encore une fois, ces sont principalement les transports en commun et la marche qui viennent être amputés. Leur utilisation de l'automobile comme passager est également un peu plus faible que pour les personnes n'ayant qu'un accès partiel à l'automobile.

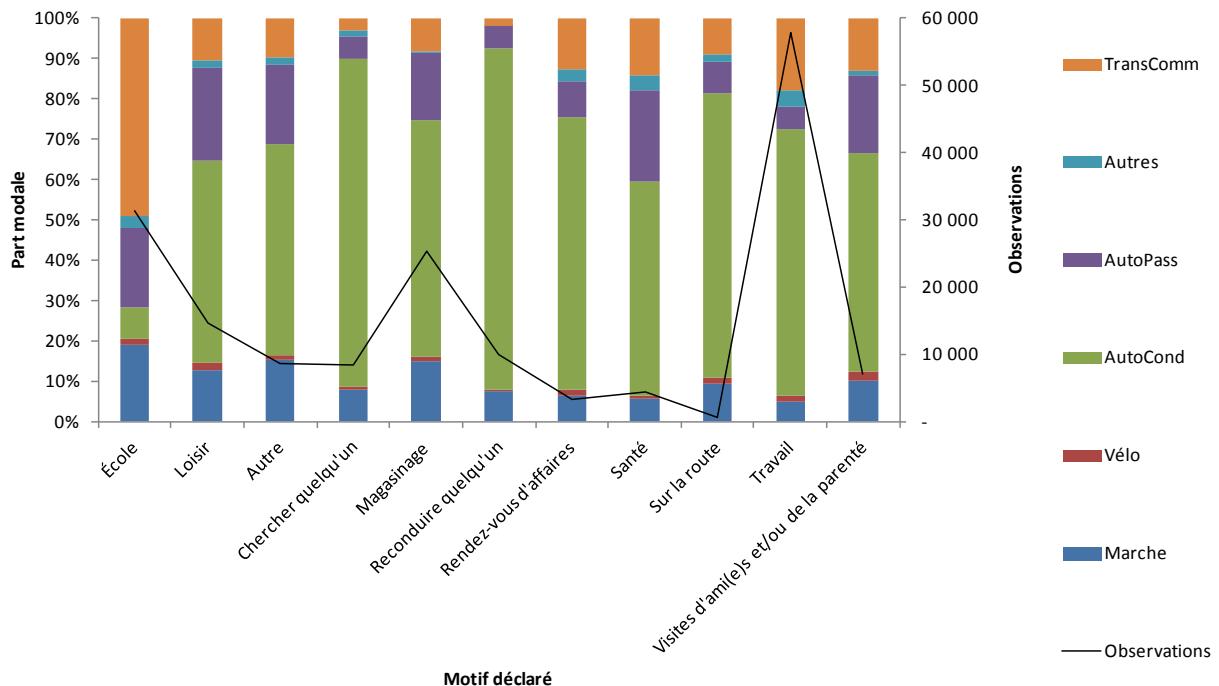


**Figure 33 - Répartition modale en relation avec l'accès individuel à une automobile**

#### 4.2.9 Motif

Il est difficile de décrire la relation entre le motif déclaré de déplacement et le choix modal en raison de la variété des motifs possibles et le fait qu'il n'existe pas de « gradation » des motifs, chaque motif devant être analysé individuellement. Il est toutefois possible de constater à la Figure 34 que le motif « École » affiche la plus forte utilisation du transport en commun (rappelons que tel qu'indiqué au Tableau 10, l'autobus scolaire a été inclus dans la catégorie « transport en commun »). Autre part, le motif « Travail » est celui qui montre la deuxième plus importante utilisation du transport en commun. Le motif « École » est également celui qui affiche la plus forte utilisation de la marche, suivie par le motif « Magasinage ». Les motifs « Reconduire/Chercher quelqu'un » sont ceux montrant la plus forte utilisation du mode

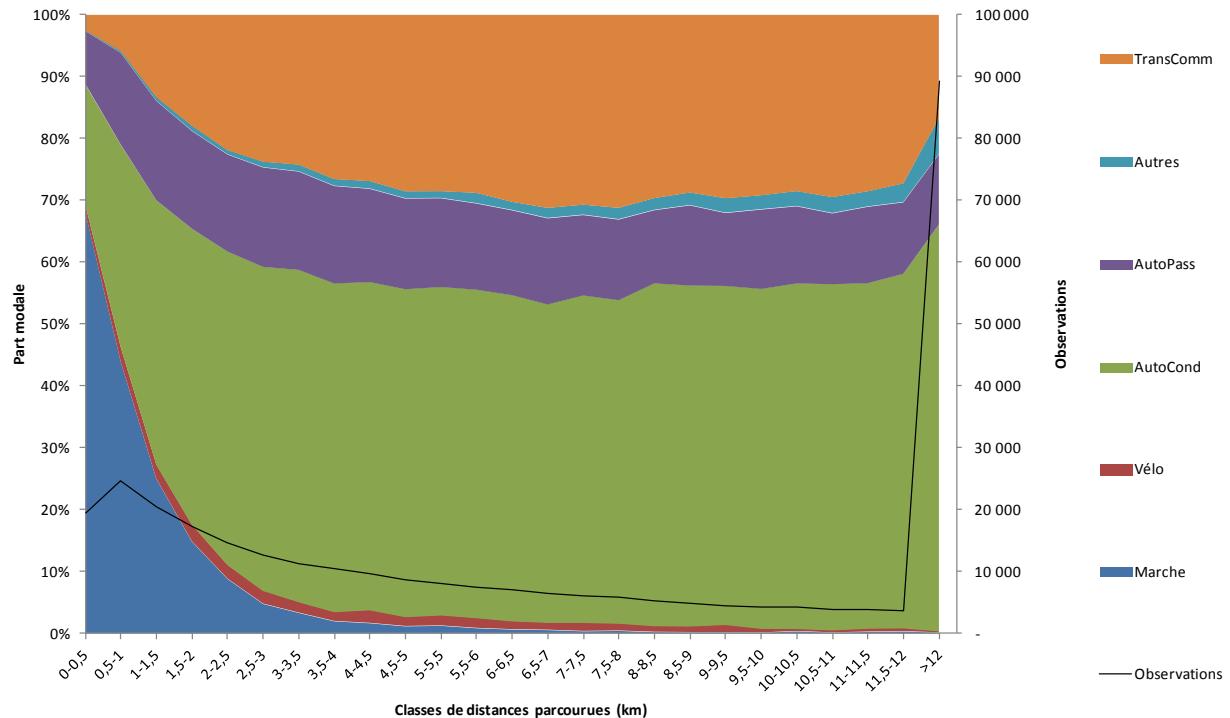
automobile comme conducteur, ceci s'expliquant par la nature même du motif, soit de transporter quelqu'un.



**Figure 34 - Répartition modale en fonction du motif de déplacement (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

#### 4.2.10 Distance

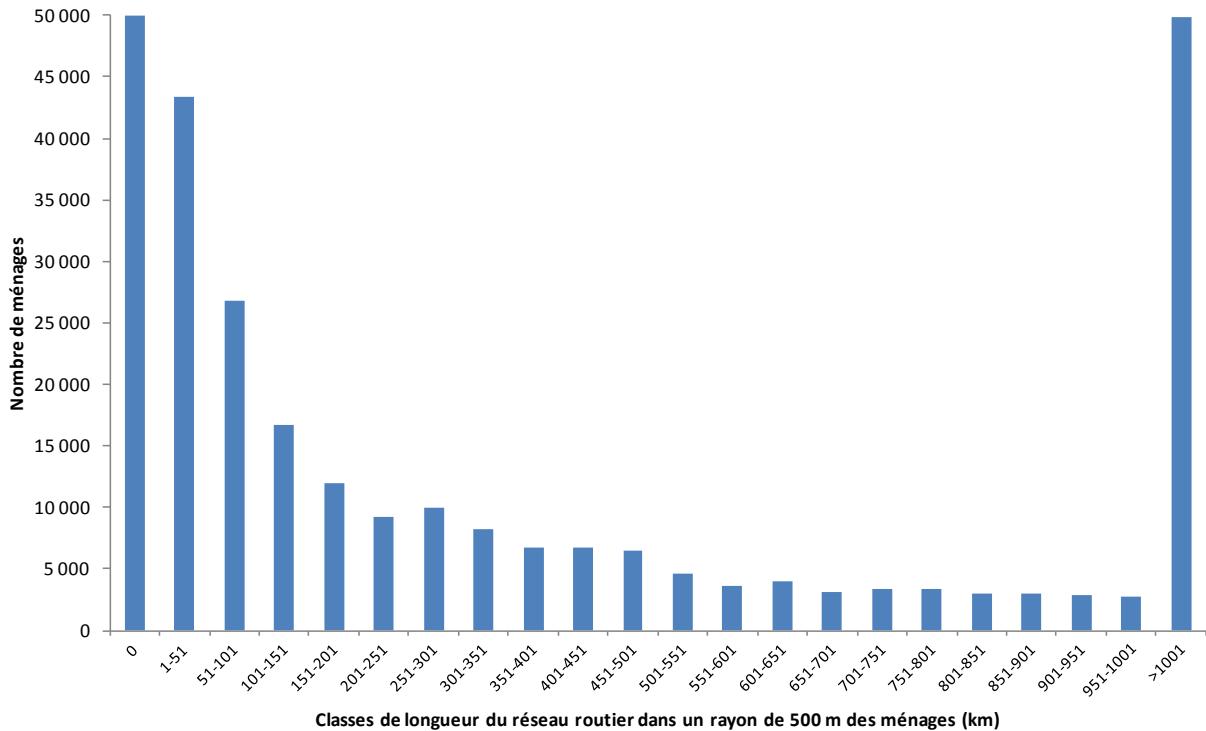
La Figure 35 montre la relation entre la distance de déplacement et le choix modal pour des classes de distance de 1 000 m. On remarque que cette relation évolue fortement en fonction de l'augmentation des distances. En effet, pour des distances inférieures à 2 km, la marche est souvent utilisée comme mode de transport. Cependant, la marche devient rapidement inutilisée avec l'augmentation des distances. De par sa nature active, la marche ne peut être considérée qu'anecdotique pour des déplacements supérieurs à 5 km (soit environ une heure de marche). En réalité, peu de personnes effectueront des déplacements aussi longs à la marche, comme en témoigne la Figure 35. Au-delà de la « zone » d'utilisation de la marche, la tendance de la répartition modale est plutôt stable avec une prépondérance marquée de l'automobile conducteur et une utilisation tout de même marquée du transport en commun.



**Figure 35 - Relation entre la distance de déplacement et le choix modal (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

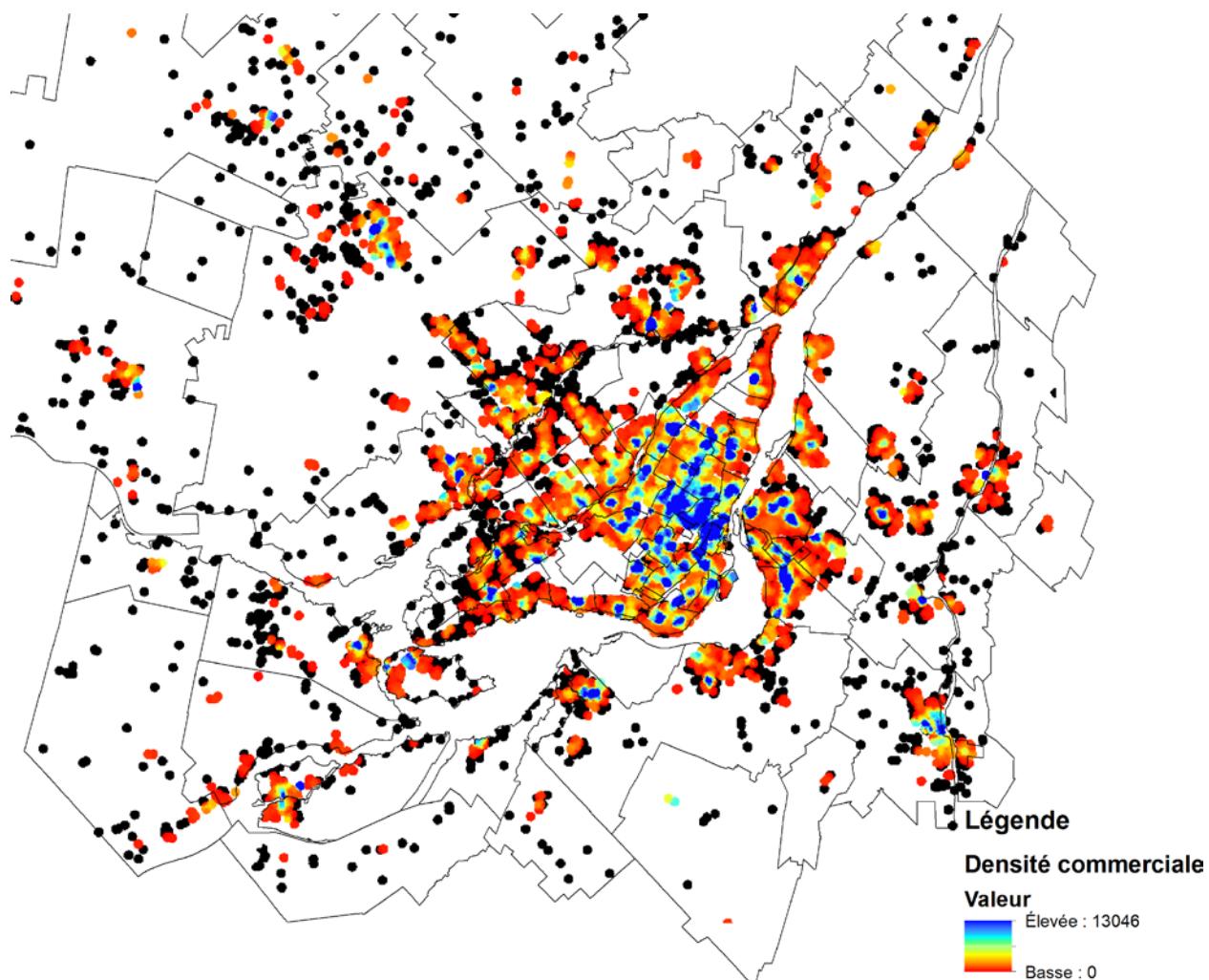
#### 4.2.11 Densité commerciale

La densité commerciale, ici exprimée selon le nombre de destinations de déplacements à motif magasinage dans une zone d'un rayon de 500 mètres autour de chaque ménage de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, a une dispersion telle que montrée à la Figure 36. La grande majorité des ménages ont moins de 100 destinations de déplacements à motif magasinage dans leur voisinage. Il est à noter qu'un nombre considérable de ménages ont comme valeur 0. Parallèlement, un nombre important de ménages ont plus de 2 000 destinations à motif magasinage dans leur voisinage. La distribution montre des fréquences assez faibles et à tendance décroissante pour les classes intermédiaires.



**Figure 36 - Dispersion de la variable densité commerciale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

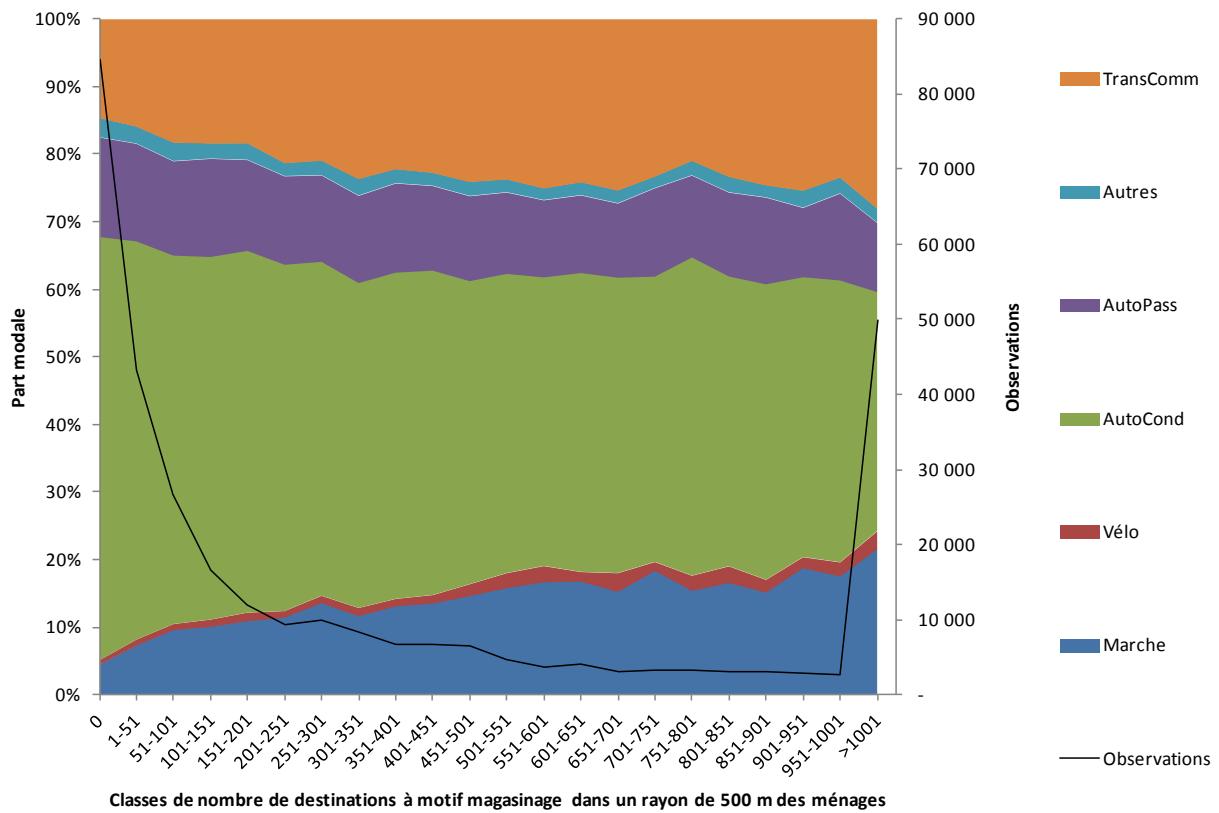
Tel que il est possible de constater à la Figure 37, les densités les plus élevées sont concentrées majoritairement dans la partie centrale de l'île de Montréal. Des concentrations élevées de destinations de déplacements à motif magasinage sont également observables dans des centres d'agglomérations périphériques. Il est à noter que certains pôles commerciaux ne sont pas représentés sur cette carte étant donné qu'elle représente la densité commerciale dans le voisinage des ménages. Incidemment, un pôle commercial isolé et où peu de ménages sont à moins de 500 m de distance ne sera pas observable avec cette variable.



\*la couleur noire représente une densité de 0.

**Figure 37 – Dispersion spatiale de la variable densité commerciale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

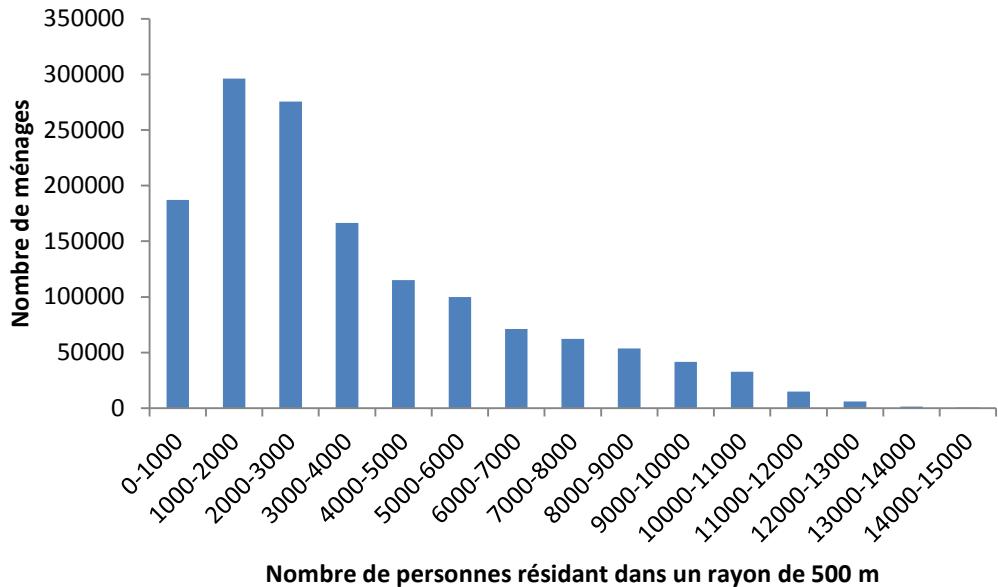
La relation entre la densité commerciale et la répartition modale est illustrée à la Figure 38. L'automobile conducteur est le mode prépondérant pour les ménages situés dans une zone de faible densité commerciale. Avec l'augmentation de la densité commerciale, vient une diminution de l'usage de l'automobile comme conducteur et une hausse concordante de l'utilisation de la marche et du transport en commun. Les zones à densité commerciale élevée affichent des parts modales à peu près équivalentes pour la marche, l'automobile conducteur et le transport en commun.



**Figure 38 - Relation entre la densité commerciale et la répartition modale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

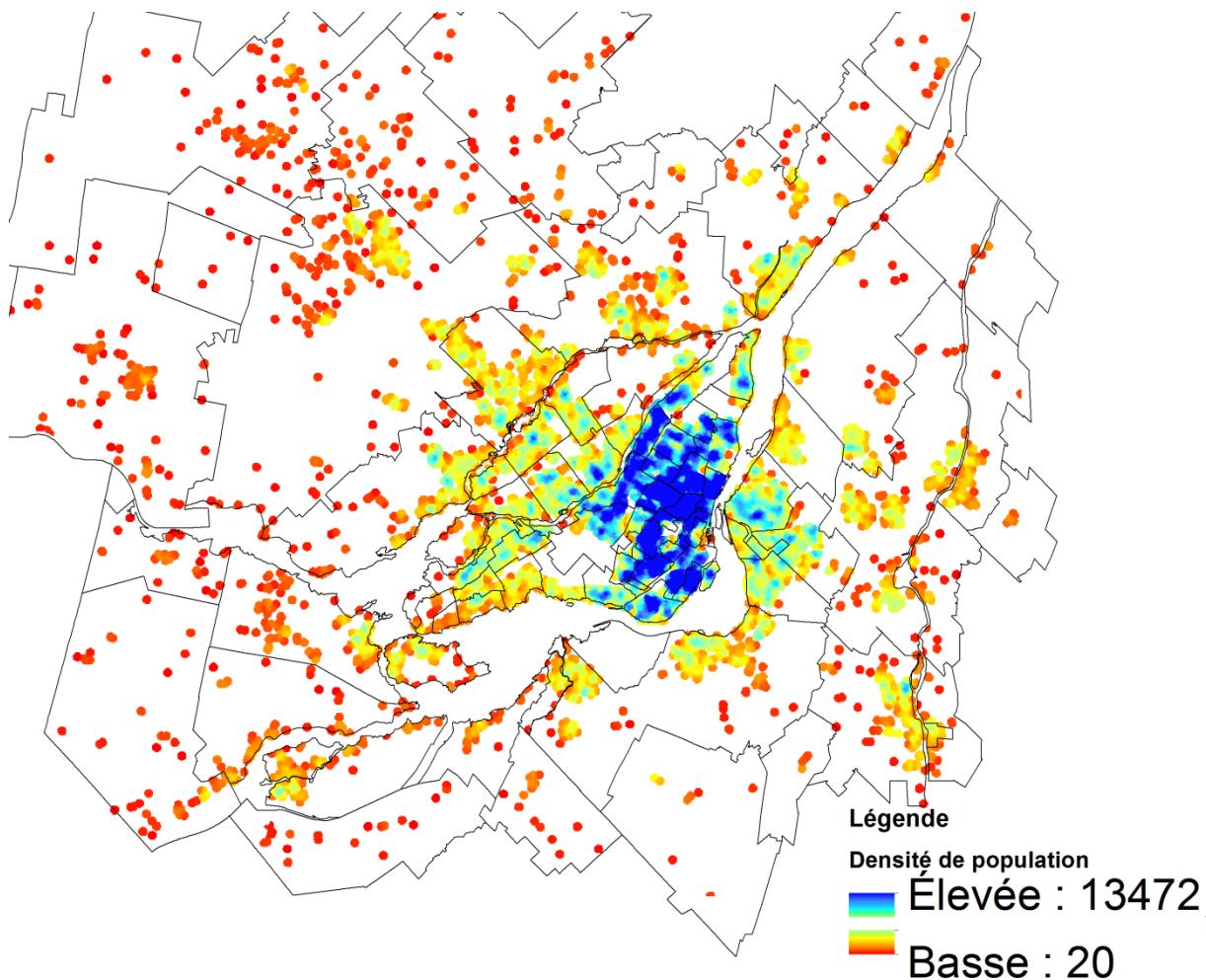
#### 4.2.12 Densité de population

La densité de population, exprimée ici en nombre de personnes résidant dans un rayon de 500 m de chaque ménage de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, a une dispersion telle que celle illustrée à la Figure 39. La distribution est étalée vers les valeurs supérieures et les fréquences les plus élevées sont observées pour les classes entre 1 000 et 3 000 personnes résidant dans un rayon de 500 m.



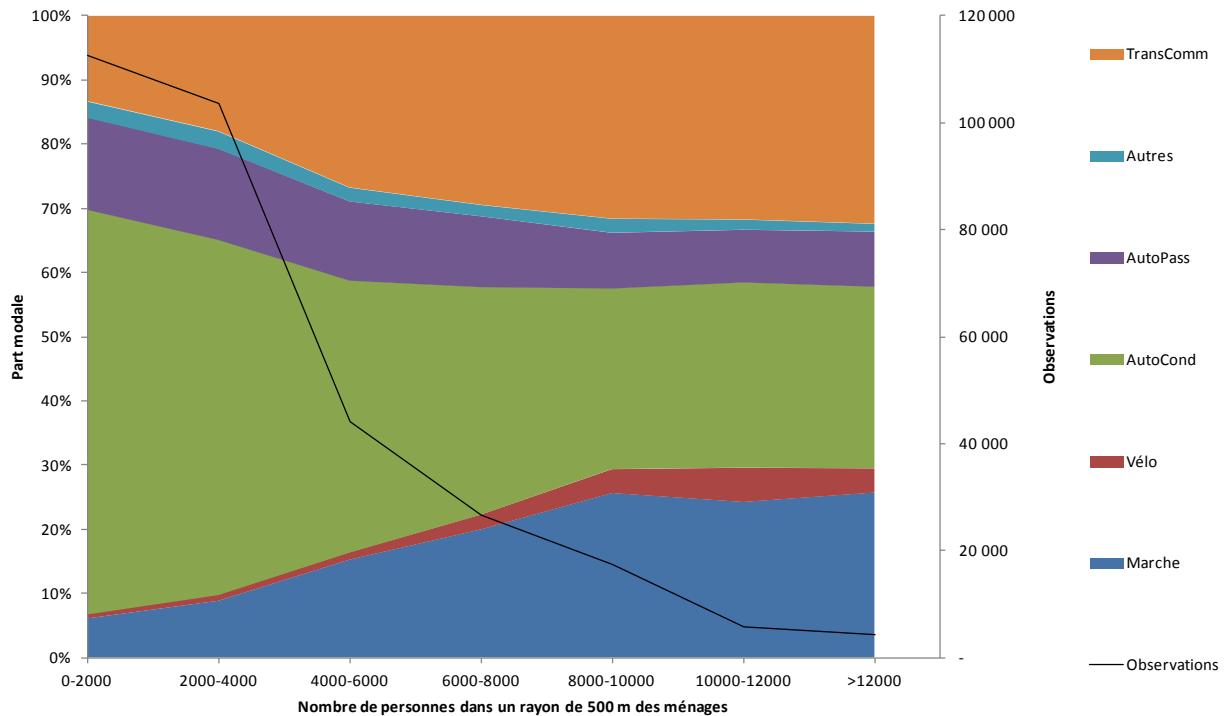
**Figure 39 - Dispersion du nombre de personnes résidant dans un rayon de 500 m des ménages (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

La Figure 40 montre la dispersion spatiale de la variable densité de population. Les plus fortes densités sont observées au cœur de l'île de Montréal avec quelques îlots de forte densité en périphérie proche. La zone de forte densité correspond plus ou moins à l'étendue du réseau du métro. Les banlieues semblent également avoir une densité légèrement plus élevée que les secteurs des couronnes, nonobstant leurs quelques coeurs urbains historiques.



**Figure 40 - Dispersion spatiale de la variable densité de population (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

La relation entre la densité de population et le choix modal est illustrée à la Figure 41. En fonction de l'augmentation de la densité de population, la part modale de l'automobile, que ce soit comme conducteur ou comme passager, diminue au profit de tous les autres modes. La différence est particulièrement marquée pour la marche et le transport en commun. Il est à noter qu'à partir d'une densité d'environ 7 000 personnes résidantes dans un rayon de 500 mètres de domicile, le choix modal se stabilise. Il semble donc y avoir, dans cet exemple, une certaine densité « limite » à partir de laquelle les comportements de mobilité ne sont plus fortement affectés par une hausse de densité.



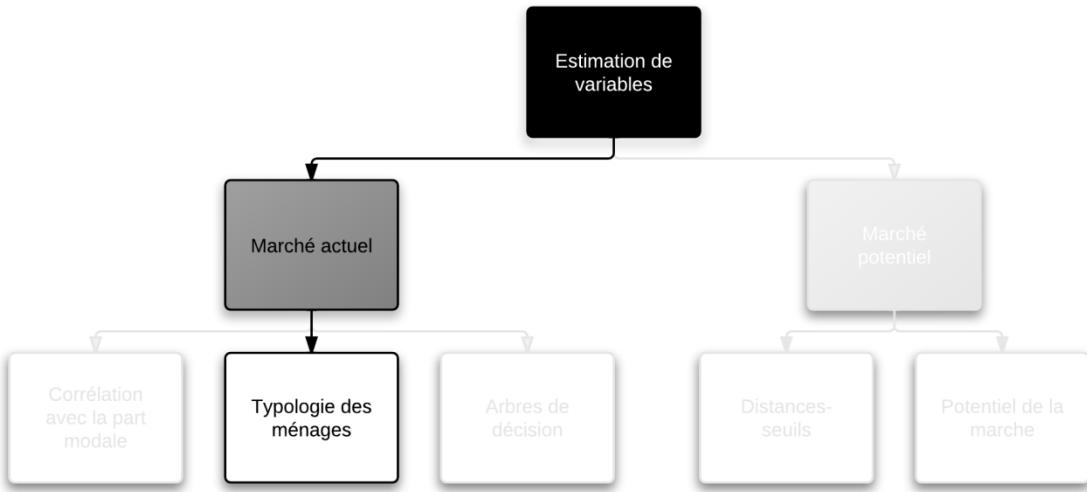
**Figure 41 - Relation entre la densité de population et la répartition modale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

### 4.3 Création d'une typologie de quartier basée sur les variables des voisinages des ménages

Parmi les variables estimées précédemment, certaines l'ont été de manière à décrire le voisinage des ménages. Celles-ci ont été évaluées sur un même niveau de résolution, c'est-à-dire, un rayon de 500 m au tour de chaque ménage. Cette analyse est faite en utilisant des données totalement désagrégées et sans considération des frontières physiques, politiques ou naturelles. Ainsi, l'estimation des propriétés du voisinage n'est pas affectée par l'effet frontière, lequel est rencontré lorsqu'on utilise des données agrégées sur des secteurs géographiques donnés.

Cette absence de frontières géopolitiques, permet donc d'évaluer le voisinage des ménages sur une base plus systématique et permet de mieux estimer le voisinage des ménages situés dans des quartiers ayant des propriétés très hétérogènes sur la superficie de leur territoire.

Cette section se situe dans le schéma méthodologique global tel que montré dans la Figure 42.



**Figure 42 - Position de la typologie des ménages dans le schéma méthodologique global**

#### 4.3.1 Méthodologie de segmentation des ménages par types

Une méthode de groupement systématique (*clustering*) sera utilisée afin de classifier les ménages de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 en différents groupes homogènes sur la base des propriétés de leur voisinage. Les variables utilisées à cette fin sont celles qui ont été qualifiées comme étant optimisées au niveau du voisinage des ménages au Tableau 9, en l'occurrence : la densité de population, la densité d'emplois, la densité commerciale, la longueur du réseau routier et le cumul des passages-arrêts sur 24h.

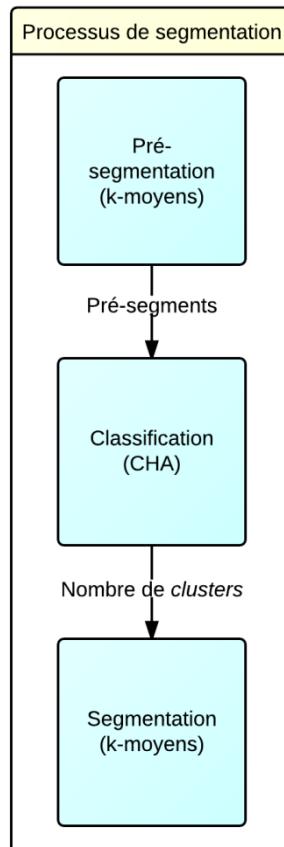
Deux algorithmes issus des méthodes de fouille systématique des données (*data mining*) sont utilisés à cette fin :

(1) Le premier algorithme utilisé est un algorithme de segmentation nommé méthode des k-moyennes. Cet algorithme permet de séparer, en spécifiant initialement le nombre de groupes à créer, l'ensemble de données en minimisant la distance entre les données et la moyenne des segments. Les détails de la méthode des k-moyennes sont décrits dans MacQueen (1967).

(2) Le deuxième algorithme utilisé est la méthode de classification hiérarchique ascendante (CHA), aussi nommée classification automatique. L'objectif de cet algorithme est de créer, sur l'ensemble des données étudiées, des groupes d'objets qui soient le plus similaires possible au sein du groupe (critère de compacité) et que les groupes soient aussi dissimilaires que

possible (critère de séparabilité). (Rakotomalala, 2005) Les détails de la méthode peuvent être consultés dans Sibson (1973).

La Figure 43 montre les principales étapes nécessaires afin de créer des types de ménages.



**Figure 43 - Schéma méthodologique de la construction d'une typologie de ménages**

L'étape de présegmentation consiste à segmenter la base de données en un nombre relativement important de segments. Le nombre de segments est arbitraire (25 segments ont été créés). L'algorithme du k -moyen est donc utilisé pour effectuer cette segmentation en fonction des variables étudiées. Cette présegmentation est effectuée afin de minimiser le temps de calcul. La classification CHA étant une opération assez longue, en présegmentant la base de données (opération très rapide), on réduit la taille de l'échantillon à classifier puisqu'on classe un nombre restreint de *clusters* au lieu de classifier toutes les observations de la base de données.

Ainsi, les résultats de la présegmentation sont entrés dans l'algorithme CHA de concert avec les variables à étudier. Le résultat de l'algorithme consiste principalement à un dendrogramme illustrant la classification des différents présegments en un nombre plus restreint

de groupes. L'algorithme proposera un nombre suggestif de *clusters*, mais l'analyste peut également choisir un nombre de *clusters* différent en se basant sur une analyse du dendrogramme. L'échelle verticale d'un dendrogramme illustre la distance entre les différents groupes. C'est sur cette base que l'algorithme classifie les différents *clusters*; plus les distances entre deux groupes sont grandes, plus ces deux groupes seront dissimilaires. Plusieurs nombres de *clusters* peuvent être testés afin de déterminer une classification pertinente. Un nombre trop faible de clusters peut rendre l'interprétation difficile vu le faible nombre de cas à analyser. À l'opposée, un trop grand nombre de clusters rendra souvent difficile l'interprétation d'autant de cas. De plus, un soin doit être apporté afin que les groupes aient des tailles plus ou moins équilibrées entre elles. En effet, il est souvent peu souhaitable qu'un groupe soit très petit alors que les autres groupes ont de grandes tailles uniformes.

Une fois le nombre de *clusters* choisi, la base de données est à nouveau segmentée par l'algorithme k-moyens en fonction des variables étudiées, mais cette fois-ci, avec le nombre de clusters voulu. L'algorithme affectera alors chaque observation de la base de données à un *cluster* qui correspond au « type » de ménage observé.

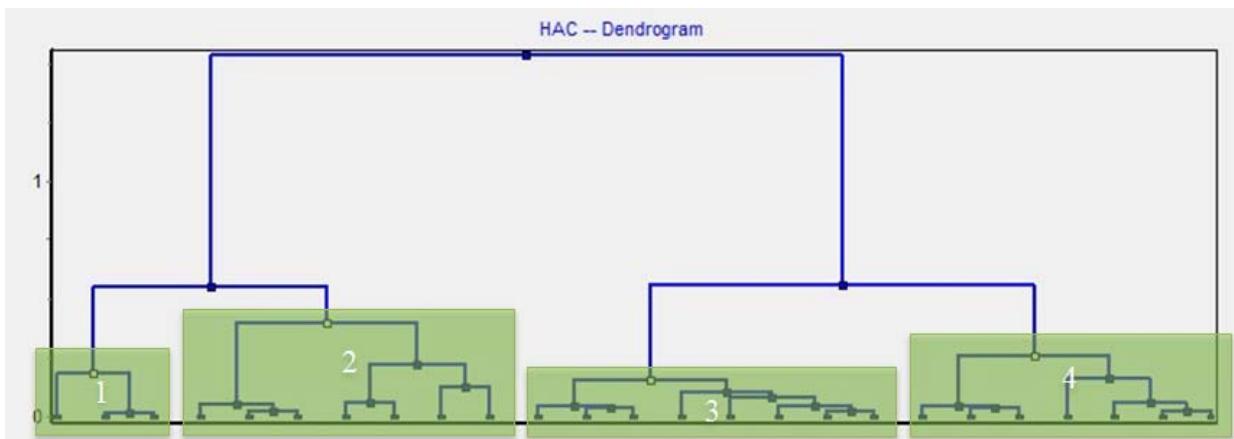
Finalement, il en revient à l'analyste de décrire et d'analyser le contenu de cette typologie afin de la rendre interprétable à un niveau plus concret que la mathématique de l'algorithme.

### **4.3.2 Typologie de quartier basée sur les données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008**

La procédure décrite à la section 4.3.1, ci-haut, a été appliquée aux données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Les six variables décrites au Tableau 9 comme étant évaluées au niveau du voisinage de 5 ménages ont été utilisées pour l'élaboration de cette typologie soit :

- la densité de population,
- la densité d'emplois,
- la densité commerciale,
- la longueur du réseau routier,
- la densité de passages-arrêts et
- le revenu disponible moyen.

La présegmentation a été effectuée à l'aide de l'algorithme du k-moyen en créant 25 segments. Ces 25 segments ont ensuite été entrés dans l'algorithme CHA pour obtenir une classification de ceux-ci. L'algorithme CHA a utilisé plusieurs fois pour valider que la solution convergeait et le résultat est présenté à la Figure 44. On y indique la distance entre chacun des groupes formés pour un des résultats obtenus par l'algorithme. Sur la base de ces résultats, quatre groupes ont été formés, ce qui correspond aussi au nombre de groupes suggéré par l'algorithme CHA. D'autres nombres de clusters ont été testés sur la base de ce même dendrogramme (3, 5, 8 et 9). Cependant, les résultats étaient trop concentriques au niveau de 3 clusters (un cluster pour le centre de la ville, un plus grand centré au centre-ville et un très grand centré au centre-ville). Les agencements à 5, 8 et 9 clusters affichaient un trop grand nombre de petits groupes versus quelques grands groupes rendant l'interprétation difficile.



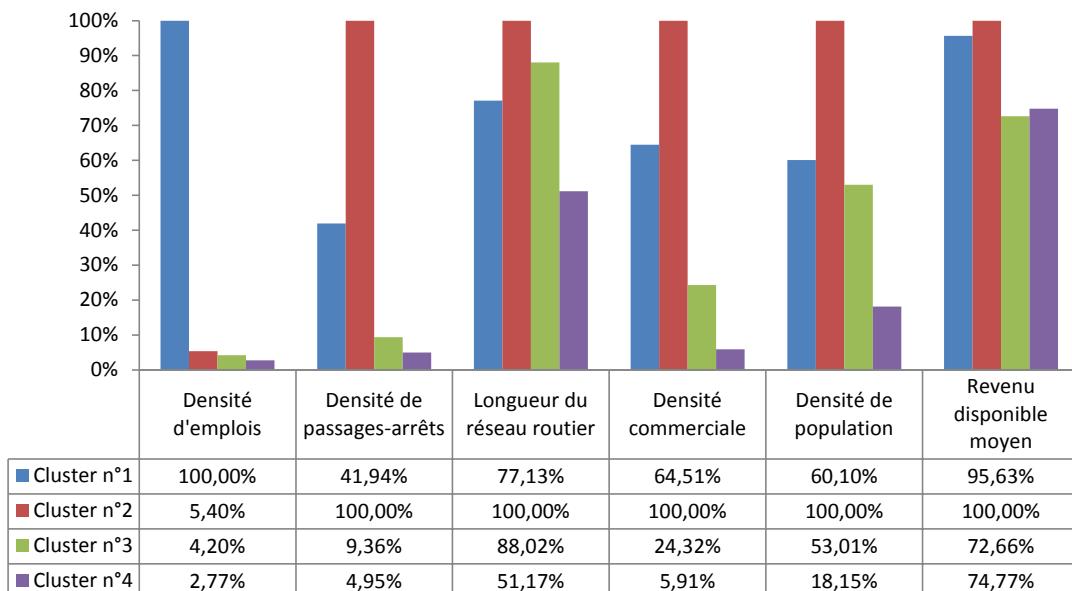
**Figure 44 - Résultat de la classification hiérarchique ascendante et choix des 4 clusters**

La base de données est ensuite segmentée en 4 groupes avec l'algorithme de k-moyen. Le nombre d'observations pour chaque groupe ainsi que la somme interne du carré des distances (WSS) est mentionné au Tableau 12. Le WSS est le résultat de la formule d'optimisation de l'algorithme qui tend à le minimiser. Il est à noter que les numéros de clusters indiqués au Tableau 12 ne correspondent pas à ceux indiqués à la Figure 44, car ces derniers, issus de l'algorithme CHA (étape de classification), représentent seulement le nombre de groupe à former avec l'algorithme de k-moyen (étape de segmentation).

**Tableau 12 - Nombre d'observations dans chacun des groupes obtenus**

Cluster	Nb obs.	WSS
<b>1</b>	397	12698
<b>2</b>	20370	44766
<b>3</b>	29151	60529
<b>4</b>	6940	65233

On remarque que la segmentation a créé deux grands groupes de taille presque égale, un groupe de taille intermédiaire et un petit groupe. Afin de mieux comprendre cette segmentation, l'examen des attributs de chaque groupe devra être effectué. La Figure 45 présente ces six variables normalisées pour chaque groupe, la valeur de ces variables en indiquant la valeur obtenue pour une variable et un groupe donné par rapport à leur maximale affichée par l'un des groupes pour chaque variable. Le résultat est ensuite indiqué en pourcentage de la valeur maximale. La Figure 46 et la Figure 47 montrent quant à elles les aires géographiques de chacun des groupes de ménages formés.

**Figure 45 – Attributs normalisés des groupes formés par le processus de segmentation**

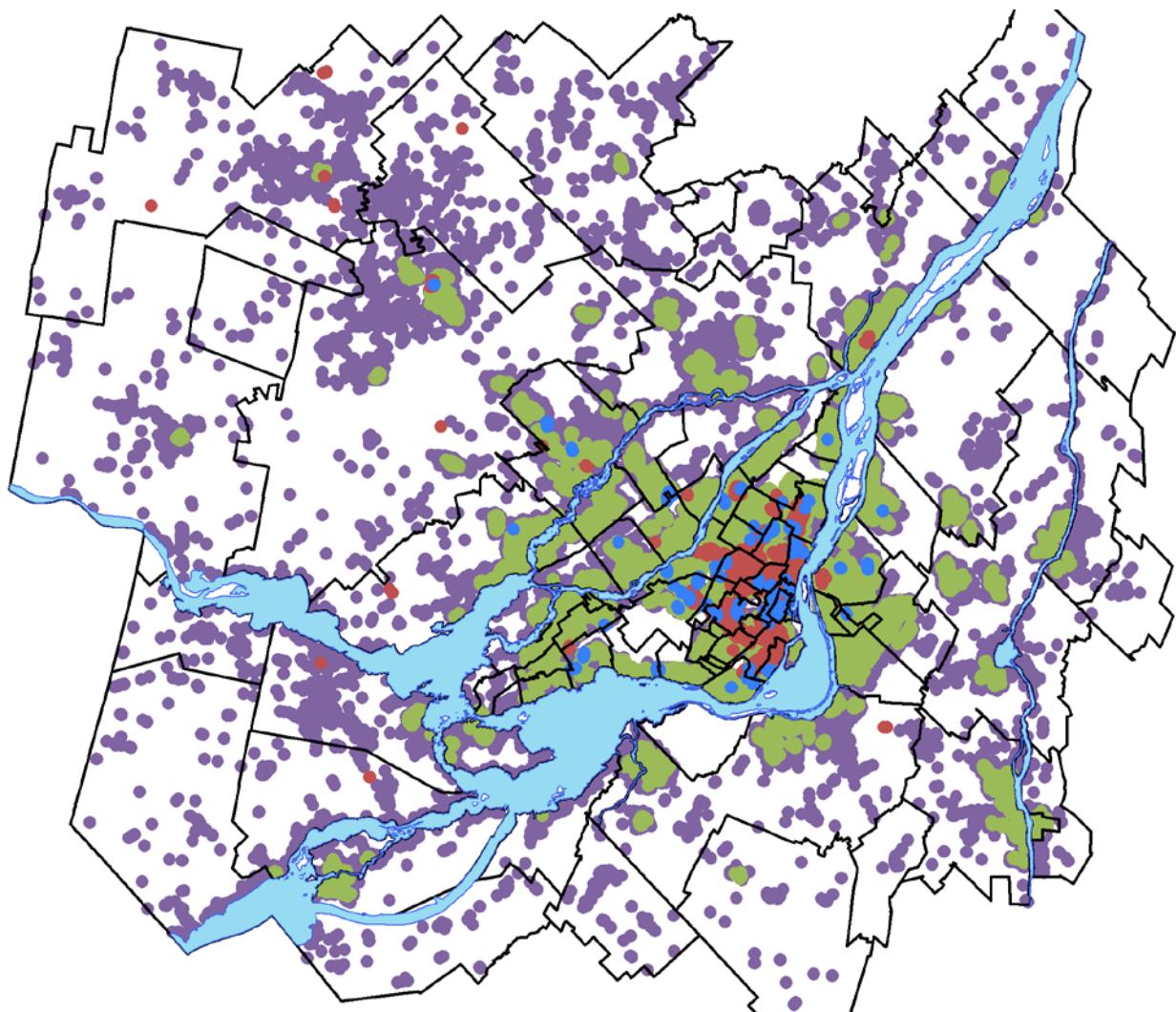
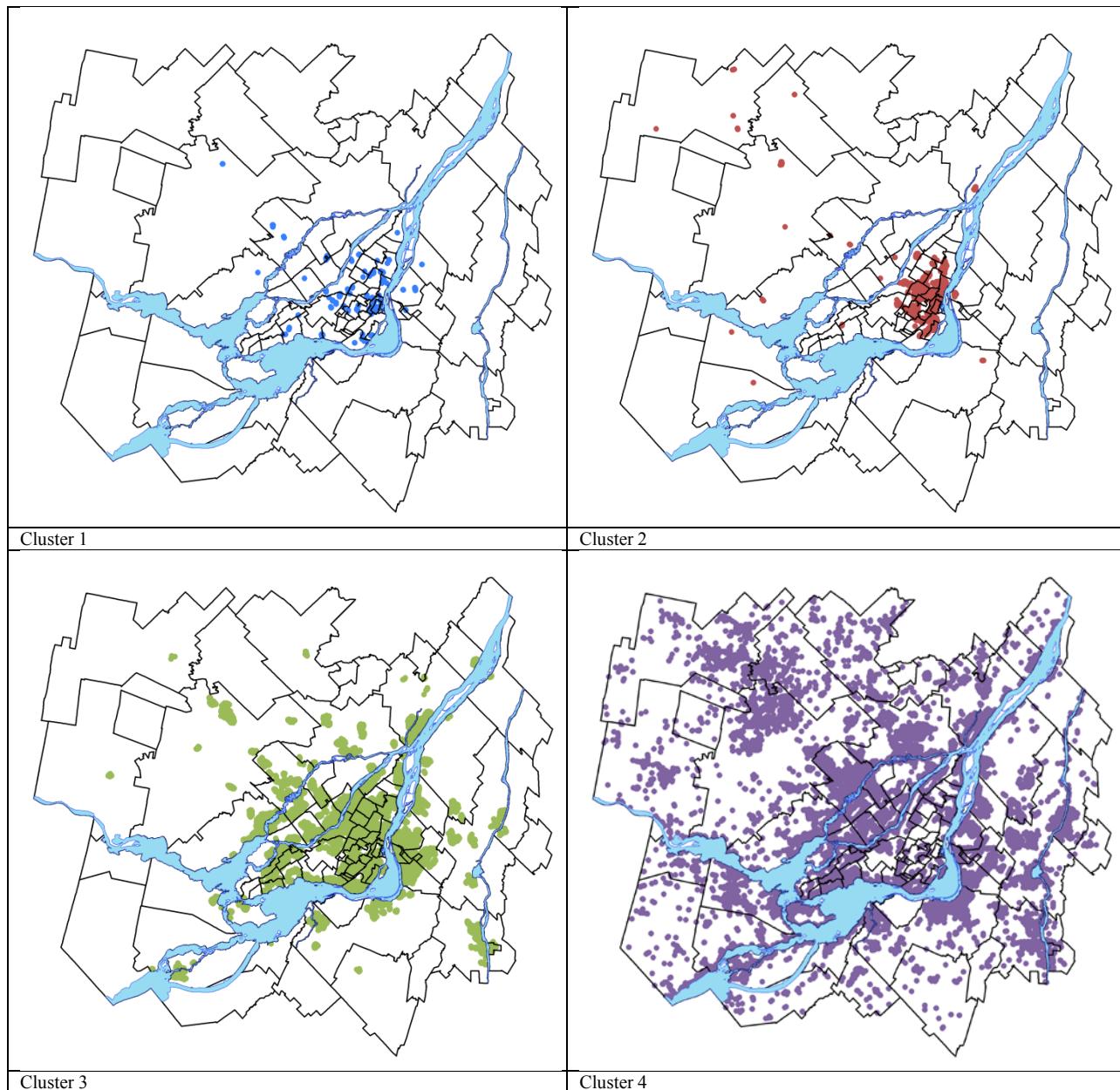


Figure 46 - Aires géographiques des types de ménages (carte générale)



**Figure 47 - Aire géographique des types de ménages (carte individuelle pour chaque groupe)**

Les quatre sous-sections suivantes feront une interprétation de chacun des quatre groupes formés par le processus de segmentation.

#### 4.3.2.1 Type de ménage 1 : « Mon voisin, cet employeur »

Les ménages du type 1 sont concentrés pour la grande majorité au centre-ville de Montréal et dans les secteurs rapprochés du centre-ville. Les ménages ne forment pas une aire continue, mais se dispersent plutôt en petites zones isolées de ménages. Ils sont également souvent situés près de grandes étendues non carrossables (grands parcs, places publiques, grands bâtiments, espaces non construits) ce qui, tel qu'illustré à la Figure 48, amène de plus faibles valeurs pour la longueur du réseau routier malgré leur contexte très urbain. Ce type de ménage se démarque des trois autres types de par sa très forte densité d'emplois. Ce sont donc des ménages situés dans des milieux où le nombre d'emplois est très dense (centre-ville) ou qui sont très près d'un grand employeur en périphérie (une grande usine par exemple). Ces sont également des ménages assez aisés et où l'offre commerciale et l'offre de transport en commun sont remarquables.

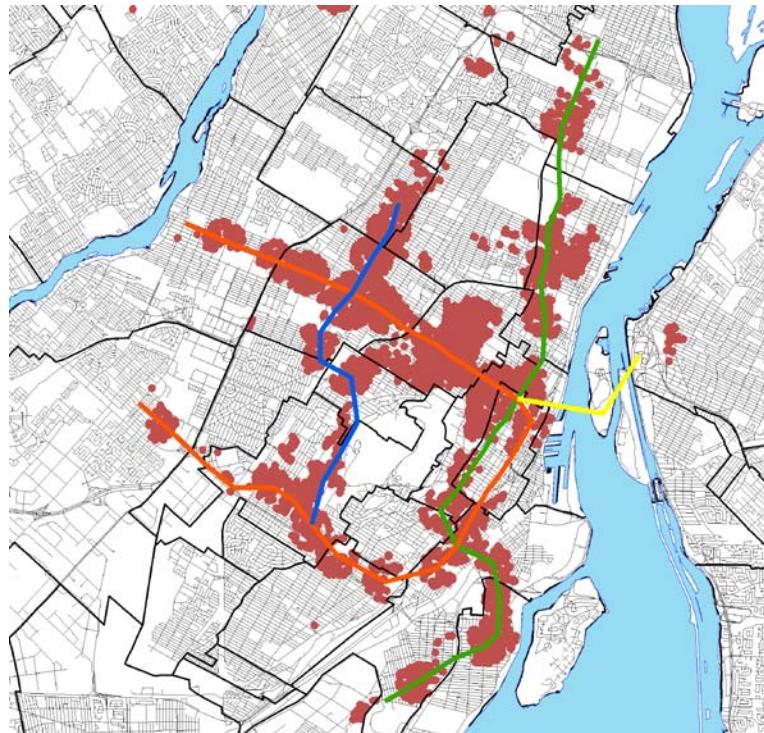


**Figure 48 - Faible longueur du réseau routier en raison de grands espaces non carrossables**

#### 4.3.2.2 Type de ménage 2 : « Vivre à deux pas du métro »

Ce type de ménage est caractérisé par sa très forte densité de passages-arrêts de transport en commun. Ceci s'explique par le fait que ces ménages sont situés près des lignes de métro, celles-ci offrant une fréquence très élevée et couplée aux nombreuses lignes d'autobus s'y rabattant. On peut clairement remarquer ce phénomène en consultant la Figure 49. En plus de l'accès facile au transport en commun, ces ménages sont situés dans un milieu de forte densité commerciale, routière et populationnelle. Ces sont également les ménages avec le plus élevé

disponible moyen le plus élevé. Contrairement au type de ménage 1, ces ménages ne sont pas en proximité de beaucoup d'emplois.



**Figure 49 - Type de ménage 2 et proximité avec le métro**

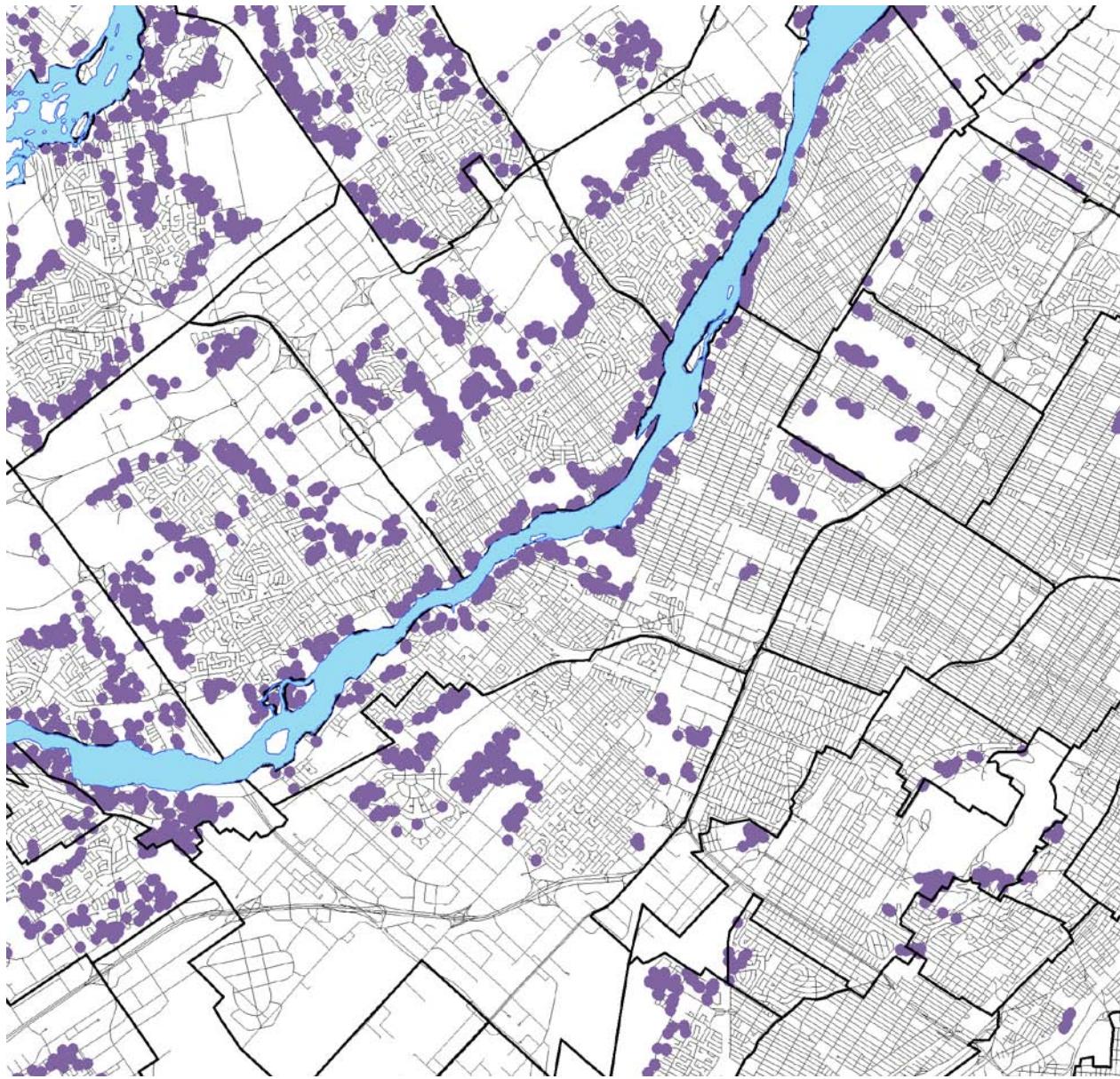
#### 4.3.2.3 Type de ménage 3 : « La vie de quartier...résidentiel »

Ces ménages se démarquent par une densité de population moyenne couplée avec une densité de passages-arrêts très faible. Ils sont construits sur un réseau routier plutôt dense et ils jouissent d'un accès très faible à des commerces et emplois à proximité. Ce sont donc des quartiers de type résidentiel. Le revenu disponible moyen y est plus faible que dans les deux premiers types de ménages, probablement parce qu'ils sont de taille plus grande, le revenu brut du ménage est alors divisé par davantage de personnes.

#### 4.3.2.4 Type de ménage 4 : « Vivre à l'écart »

Ces quartiers affichent la plus faible densité d'emplois, de population, de commerces, de passages-arrêts de transport en commun et la plus faible longueur de réseau routier. Leur revenu est comparable au type de ménage 3. Tel qu'on peut le voir à la Figure 50, ces ménages sont pour la très grande majorité situés aux limites du périmètre urbain, que celui-ci soit défini par un

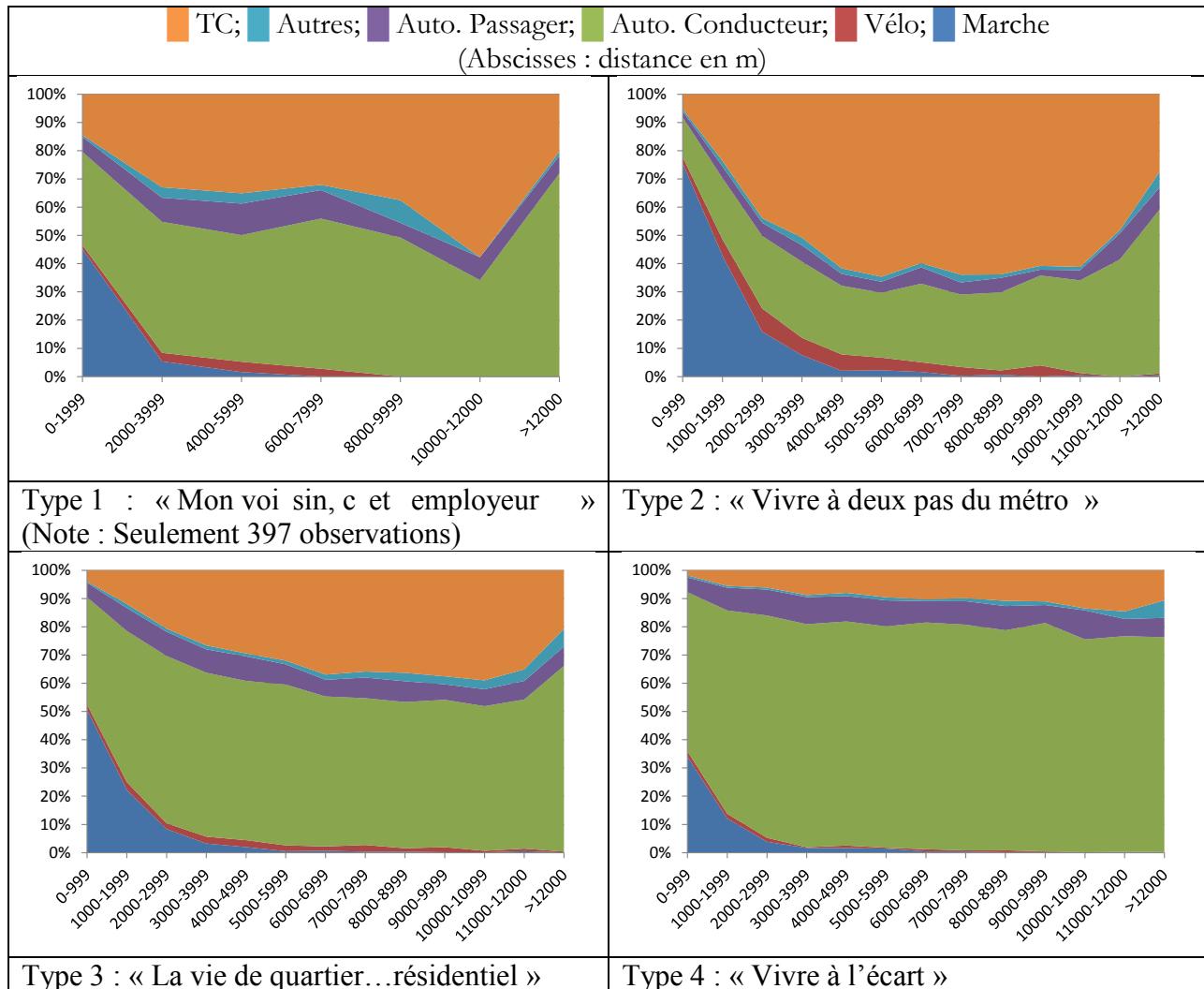
obstacle naturel (plan d'eau, colline, parc) ou urbanistique (milieu non développé, zone industrielle). Étant sis à cheval entre l'espace urbanisé et l'espace non urbanisé (ou urbanisable), ces ménages sont alors « limités » dans leur accessibilité à des commerces ou emplois par cette frontière « urbanistique ». On retrouve aussi dans ce type de ménage, les habitations rurales, se trouvant sur des rangs ou chemins ruraux.



**Figure 50 - Ménages du type 4 situés sur la frontière du périmètre urbain**

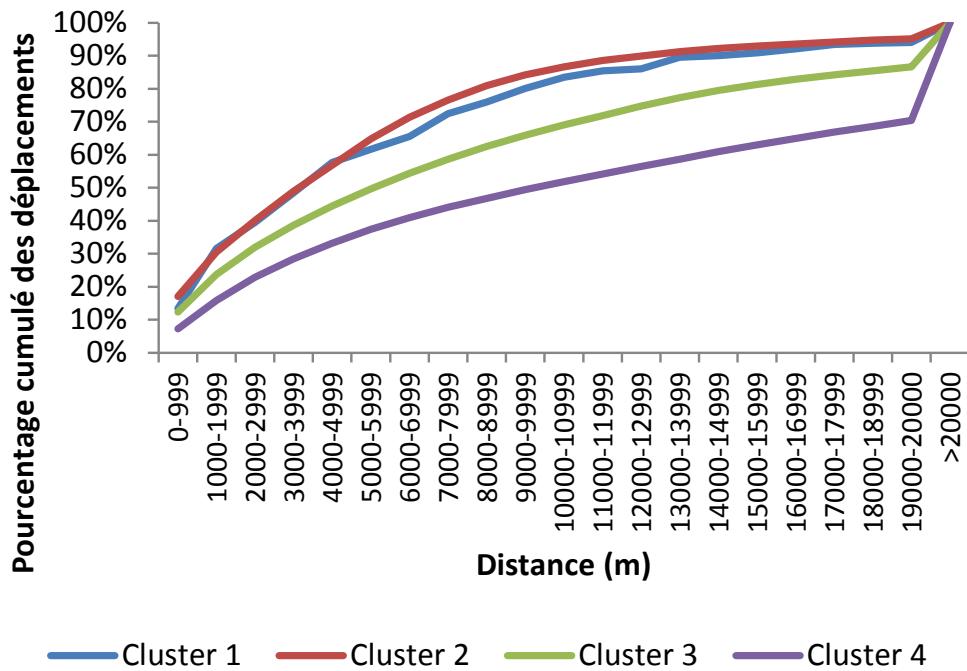
### 4.3.3 Habitudes modales de chacun des types de ménages

À la lumière des relations établies à la section 4.2 entre les variables utilisées dans cette typologie et le choix modal, il est fort probable que ces quartiers illustrant une grande variabilité urbanistique aient différentes pratiques modalas. La répartition modale pour chaque type de ménage a été calculée en fonction de la distance du déplacement afin de mieux représenter les parts modales malgré les effets reliés à l'augmentation des distances de déplacement en fonction de l'éloignement des ménages du centre-ville. Les résultats sont présentés à la Figure 51.



**Figure 51 - Répartition modale en fonction de la distance pour chaque type de ménage  
(Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

Bien que le type de ménage 1 soit caractérisé par une forte densité d'emplois et conséquemment, à une plus forte probabilité d'une proximité domicile-travail, ce type de ménage affiche une assez forte représentation de l'automobile conducteur et ce, pour toute distance de déplacement. Néanmoins toutefois que, comme on peut le remarquer à la Figure 52, ce type de ménage parcourt de moins grandes distances que les ménages de type 3 ou 4, mais est cependant comparable aux ménages de type 2. Par contre, en comparaison aux ménages de type 2, les ménages de type 1 sont situés dans des milieux moins denses ce qui encourage l'utilisation de l'automobile.



**Figure 52 - Pourcentage cumulé des distances parcourues, par type de ménage (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

Les ménages de type 2 affichent la plus faible utilisation de l'automobile et la plus forte utilisation de la marche et des transports en commun. Ceci est probablement attribuable à la très forte densité de passages-arrêts qui favorise l'utilisation du transport en commun. Les fortes densités du réseau routier, de commerces et de population sont toutes davantage associées avec une plus forte utilisation du transport en commun et de la marche.

Les ménages de type 3 affichent une beaucoup plus grande prépondérance de l'automobile conducteur mais affichent aussi une part appréciable d'utilisation du transport en

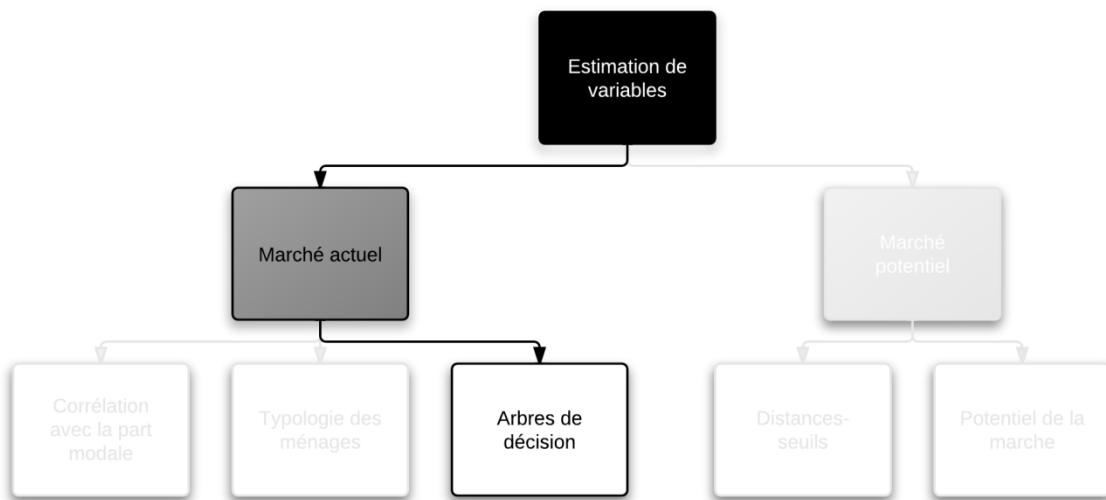
commun, surtout pour des distances entre 6 et 10 km. La marche y est aussi assez présente mais les déplacements de faible distance y sont beaucoup plus rares que dans les types 1 et 2.

Les ménages de type 4 montrent qu'à eux une part quasi totale pour l'automobile conducteur. Pour presque n'importe quelle distance à parcourir, le transport en commun ne réussit pas à attirer plus de 10% des déplacements. La part modale de la marche y est aussi la plus faible des quatre types, ceci couplé au fait que ce soit le type de ménage faisant les déplacements les plus longs, rendant la pratique de la marche encore plus restreinte. La faible densité observée pour chacune des variables étudiées est reliée avec une plus forte utilisation de l'automobile.

Il est donc possible de créer une typologie de ménages basée sur les propriétés de leur voisinage. Les groupements obtenus ont affiché des habitudes modales différentes et compatibles avec les relations établies entre l'environnement urbain et le choix modal.

#### **4.4 Modélisation du choix modal en utilisant des arbres de décision**

L'ensemble de variables décrit aux sections 4.1 et 4.2 permet de décrire le choix modal sous plusieurs facettes, en mettant en relation les variables estimées et la répartition modale. Cette section se situe dans le schéma méthodologique global tel que montré à la Figure 53.



**Figure 53 - Position des arbres de décision dans le schéma méthodologique global**

Cependant, un tel exercice n'informe en rien sur la magnitude avec laquelle ces variables agissent sur le choix modal. Il s'avère donc impossible au terme de cette mise en corrélation de déterminer quelles variables sont plus déterminantes dans le choix d'un mode de transport. De plus, l'analyse de corrélation entre les variables, montrée au Tableau 13, indique que certaines de ces variables ont une corrélation assez élevée entre elles. Lors de l'élaboration d'un modèle, il est fréquent de retirer une des deux variables qui ont un coefficient de corrélation de 0,4 ou plus. Par exemple, la densité de population est assez bien corrélée avec la densité de passages-arrêts, la densité commerciale et la longueur du réseau routier. Cela justifie donc l'emploi fréquent de la densité de population dans les modèles de choix modal.

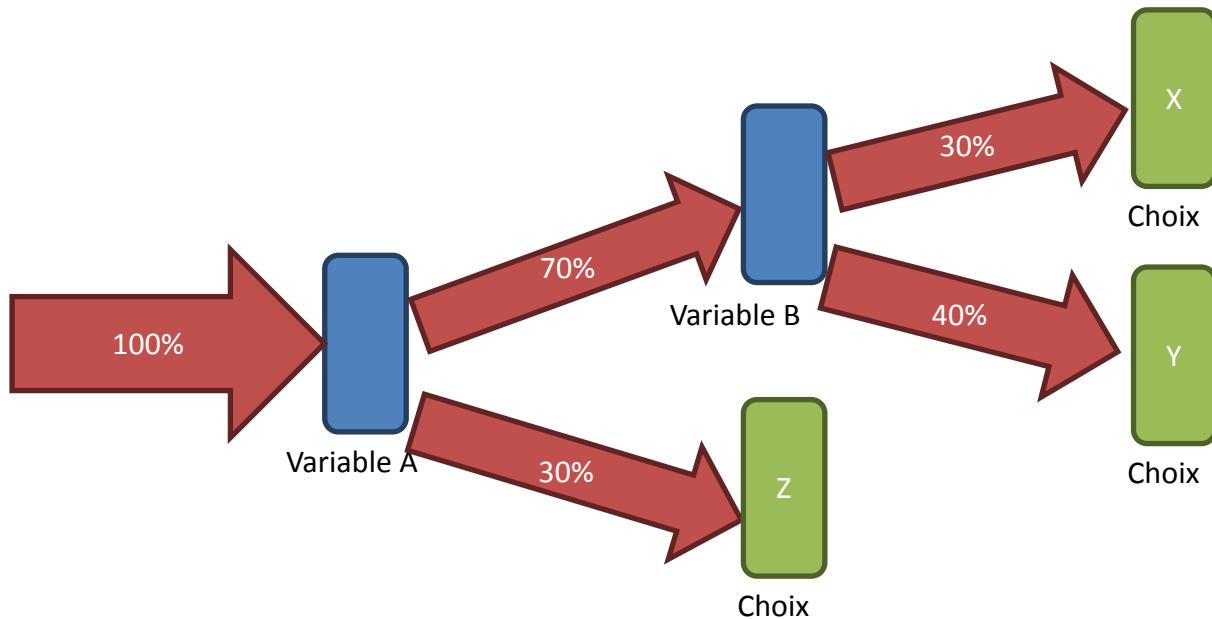
**Tableau 13 - Analyse de corrélation entre certaines variables ayant un impact sur le choix modal**

<i>Corrélation</i>	Densité d'emplois	Densité de passages- arrêts	Longueur du réseau routier	Densité commerciale	Densité de population	Revenu disponible moyen	
	Distance	Distance	routier				
Densité d'emplois	1,00						
Densité de passages-arrêts	0,12	1,00					
Distance	-0,04	-0,09	1,00				
Longueur du réseau routier	0,08	0,35	-0,15	1,00			
Densité commerciale	0,13	0,40	-0,09	0,35	1,00		
Densité de population	0,10	0,50	-0,16	0,65	0,47	1,00	
Revenu disponible moyen	0,09	0,23	-0,03	0,12	0,24	0,20	1,00

Il s'agit donc à ce point-ci de déterminer une certaine hiérarchie entre les variables expliquant le choix modal. Ainsi, il sera possible de cerner un ensemble de variables ayant un pouvoir explicatif plus marqué, ou alors, de tirer une « variable-clé », qui viendrait la principale variable qui explique le choix modal.

La méthode de l'arbre de décision a ici été choisie afin d'effectuer cette analyse. Plus spécifiquement, c'est l'algorithme C4.5 qui a été utilisé. Cet algorithme a été décrit en détail par Quinlan (1993). Cette méthode de fouille systématique de données (*data mining*) permet de créer un ensemble de feuilles et de branches qui sont définies par un ensemble de règles de segmentation. Par exemple, sur la Figure 54, on voit à la partie que la variable A a séparé l'ensemble de départ en deux groupes rassemblant respectivement 70% et 30% de l'ensemble des

données. Le premier groupe contenant 70% des observations est ensuite segmenté une seconde fois par la variable B en deux groupes représentant respectivement 30% et 40% des observations totales. Ces deux derniers ont mené à deux « choix » X et Y. Le second groupe a lui mené à un « choix » Z. Les « choix » sont caractérisés par la variable « cible » voulant être expliquée.



**Figure 54 - Schéma illustrant un arbre de décision**

Dans le cas présent, les flèches rouges, ou « branches », représentent les observations de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Les variables A et B, ou « nœuds », sont des variables ayant une corrélation avec le choix modal. Les choix X, Y et Z, ou « feuilles », seraient des modes de transport choisis par l'algorithme. Ce dernier choisit un seul mode qu'il attribue à chaque « feuille » selon le choix le plus fréquent au sein de cette feuille, cette dernière étant la plus homogène possible. Les variables sont quant à elles choisies par l'algorithme en fonction de leur pouvoir à séparer les groupes avec une très grande distance mathématique entre eux. Les variables sont ensuite lues dans l'ordre indiqué par les branches de l'arbre de manière successive afin de créer une règle menant à un choix, tel que montré à la Figure 55

```

SI 'Distance' < 1950 m
    ET QUE 'Cohorte' = 20-24 ans
        ALORS 'Mode' = Marche (pour 76% des 5477 observations)
SI 'Distance' ≥ 1950 m
    ET QUE 'Cohorte' = 20-24 ans
        ET QUE 'Densité de population' < 4275 h./km2
            ALORS 'Mode' = AutoCond (pour 44% des 34791 observations)
        ET QUE 'Densité de population' ≥ 4275 h./km2
            ALORS 'Mode' = TransComm (pour 66% des 30461 observations)

```

**Figure 55 - Règles de segmentation créées par l'algorithme C4.5**

L'algorithme utilise un paramètre de taille des feuilles afin de déterminer le nombre de règles à décrire. Effectivement, si une grande taille de feuilles est fixée, moins de feuilles seront créées et ainsi, moins de niveaux hiérarchiques seront nécessaires pour discerner les feuilles entre elles. Inversement, une taille faible de feuilles créera un nombre important de feuilles et donc de multiples niveaux hiérarchiques. À l'extrême supérieur, l'algorithme créerait une feuille par observation et les branches décriraient chacune des données par ses propres valeurs pour chacune des variables. À l'extrême inférieur, l'algorithme ne créerait qu'un seul groupe contenant toutes les observations sans aucune variable de segmentation, ou sinon, deux groupes immenses, avec une seule variable de segmentation.

L'algorithme « choisit » un mode en indiquant le mode le plus utilisé au sein d'une feuille. Il attribue ensuite ce choix à toutes les observations classées dans cette feuille. Ce choix varie en homogénéité; certaines feuilles auront des répartitions modales très partiales envers un seul mode, alors que d'autres seront beaucoup plus équivoques et auront plusieurs modes dominants. C'est donc ces observations mal attribuées qui constitueront le **taux d'erreur**. Le taux d'erreur correspond au nombre total d'observations mal attribuées sur le nombre total d'observations. Le **taux de rappel** est aussi utilisé pour décrire l'attribution des modes. Le taux de rappel décrit le taux d'observations pour un mode donné qui a été attribué à ce même mode dans l'arbre de décision. Finalement le **taux de précision** est le nombre d'observations d'un mode donné attribuées correctement à ce même mode divisé par le nombre total d'attributions à ce mode (Marcellin, 2008).

Une présegmentation manuelle des données a été effectuée afin de mieux représenter le choix modal en fonction des occupations principales des personnes. En effet, comme les personnes ayant des statuts différents ont souvent des comportements de mobilité très différents,

on voudrait faire des analyses distinctes pour ces statuts afin de mieux faire sortir les choix individuels particuliers à ceux-ci. Dans le cas présent, cette analyse a été faite d'une part sur les travailleurs et d'autre part sur les étudiants.

#### **4.4.1 Arbre de décision décrivant le choix modal des travailleurs**

De la base de données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 sont extraits les déplacements à motif travail effectués par des personnes ayant un statut de travailleur à temps partiel ou à temps plein. Le nombre d'observations se chiffre donc à 51 521 déplacements non pondérés. Afin d'obtenir un nombre convivial de règles à analyser, plusieurs tailles de feuilles ont été utilisées jusqu'à l'obtention d'un arbre étant assez représentable et analysable dans le contexte présent. La taille minimale des feuilles spécifiées dans l'algorithme a donc été de 500 observations, soit environ 1% des observations pour chacune des feuilles, au minimum. Le taux d'erreur reproduit par l'algorithme est de 0,2515, c'est-à-dire qu'environ 25% des observations ont été attribuées à un mode différent que celui déclaré dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. La matrice de confusion et la prédiction des valeurs présentée au Tableau 14. On y remarque que les modalités ayant le plus d'observations dans la base de données de départ (AutoCond, TransComm et Marche) sont généralement ceux jouissant du meilleur classement. L'automobile passager est par contre très mal expliquée par l'algorithme, avec un taux de rappel de 0 (aucune observation AutoPass n'a été attribuée au mode AutoPass par l'algorithme), malgré une nombre assez importante d'observations. On remarque même phénomène avec la bimodalité. Il semble donc difficile de bien prévoir ces choix modaux en fonction des variables disponibles.

**Tableau 14 - Prédiction et matrice de confusion de l'arbre de décision expliquant le choix modal des travailleurs**

Taux d'erreur			25,1%									
Prédiction des valeurs			Matrice de confusion									
Valeur	Rappel	1-Précision	Mode attribué	AutoCond	TransComm	Bi-Mode	AutoPass	Marche	Vélo	Autre	Tous	
Mode déclaré	AutoCond	96,2%	0,2352	AutoCond	33544 (96%)	903	0	0	417	0	0	34864
	TransComm	42,2%	0,3211	TransComm	4893	3764 (42%)	0	0	259	0	0	8916
	Bi-Mode	0%	1,0000	Bi-Mode	1673	102	0 (0%)	0	0	0	0	1775
	AutoPass	0%	1,0000	AutoPass	2288	361	0	0 (0%)	82	0	0	2731
	Marche	56,2%	0,4075	Marche	874	107	0	0	1256 (56%)	0	0	2237
	Vélo	0%	1,0000	Vélo	431	228	0	0	85	0 (0%)	0	744
	Autre	0%	1,0000	Autre	154	79	0	0	21	0	0 (0%)	254
			Tous	43857	5544	0	0	2120	0	0	51521	

Le résultat de l'algorithme de segmentation appliqué aux travailleurs est présenté à la Figure 56.

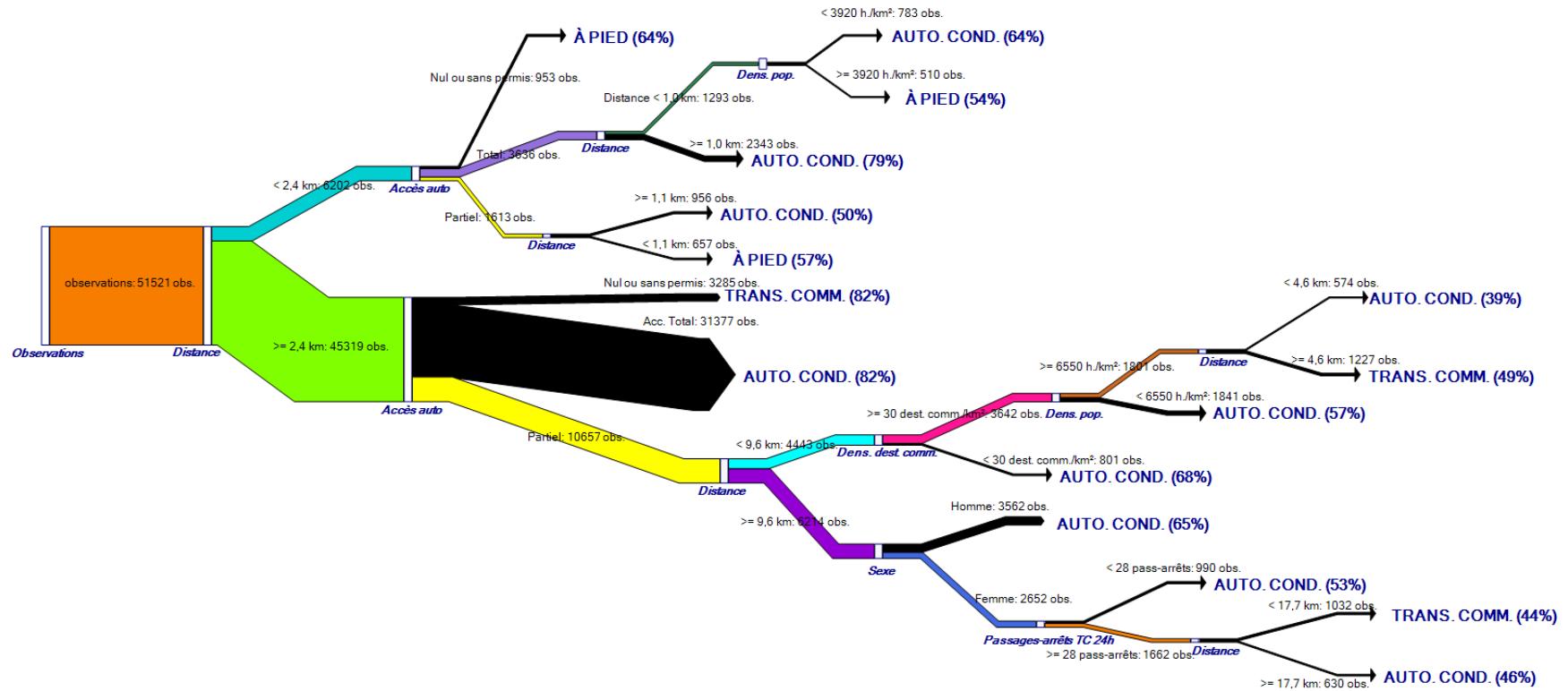
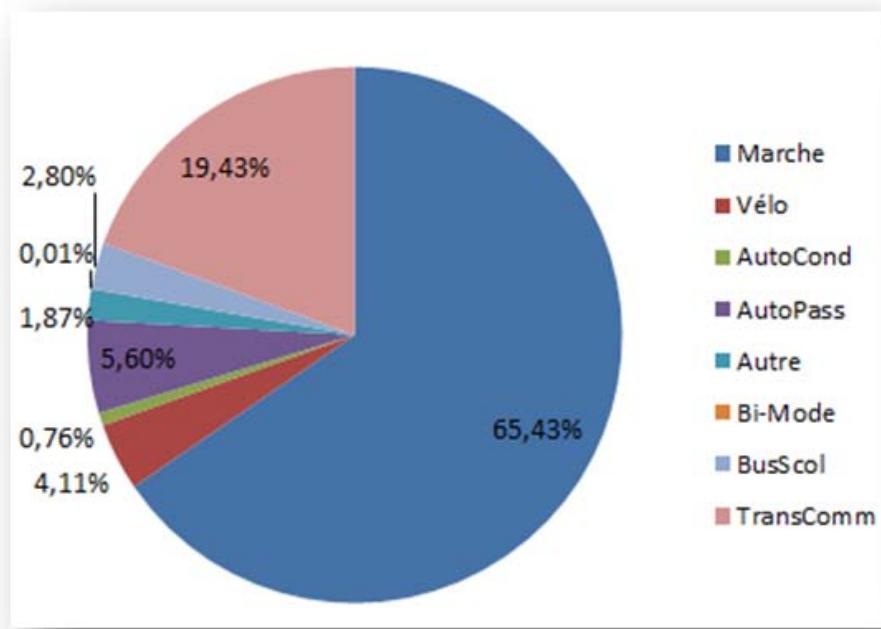


Figure 56 - Arbre de décision décrivant le choix modal des travailleurs (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)

On remarque que la première variable de segmentation a été éliminée. Pour les travailleurs, une distance de 2,4 km serait déterminante dans leur choix modal. Pour des déplacements d'instance inférieure à 2,4 km, les modes choisis sont la marche ou l'automobile conducteur selon principalement l'accès à l'automobile, la distance et la densité de population. Au-delà de 2,4 km, l'automobile est nettement vainqueur, mais est parfois détrônée par le transport en commun selon encore une fois l'accès à l'automobile, la distance, la densité de population, la densité commerciale, le sexe et la densité de passages-arrêts.

Pour chaque feuille, on peut utiliser la règle établie par l'algorithme et l'utiliser comme filtre dans la base de données d'origine pour obtenir les observations qui y ont été classées. Par exemple, pour la règle définie par une distance de moins de 2,4 km et un accès à l'auto Nul ou Sans Permis dans la Figure 56, on a retiré la part modale suivante, montrée à la Figure 57.



**Figure 57 - Part modale observée au sein d'une feuille de l'arbre de décision**

On retrouve donc la marche comme mode choisi par l'algorithme avec la plus forte part modale pour cette feuille. Suit ensuite le transport en commun à 19% et le reste des modes avec des parts inférieures à 5%. Il serait donc possible, en calculant la part modale de chacune de ces

feuilles, de pondérer les facteurs d'expansion des observations contenues dans cette feuille. En appliquant ce procédé, on obtiendrait alors la part modale modélisée par l'algorithme. Il n'existe toutefois pas de méthode automatique pour effectuer ce calcul des parts modalas par feuille (l'algorithme ne donne en extract que le mode le plus utilisé). Avec la stratégie actuelle, un filtre manuel devrait être appliqué à la base de données source autant de fois qu'il y a de feuilles. Ceci est donc trop fastidieux. Il faudra donc considérer une méthodologie différente pour atteindre ce résultat, si désiré.

#### **4.4.2 Arbre de décision décrivant le choix modal des étudiants**

À partir de ces données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, 30 221 observations ont été extraites pour des déplacements non pondérés, à motif école, effectués par des personnes avec un statut d'étudiant. Une taille minimale des feuilles a été fixée à 1 000 observations par feuille afin de pouvoir obtenir un résultat facilement analysable dans le cadre présent. Une taille de feuille plus grande que celle des travailleurs a dû être choisie, car les résultats obtenus affichaient un nombre de règles beaucoup plus important. La matrice de confusion montrée au Tableau 15 indique un plus fort taux d'erreur dans l'attribution des modes par l'algorithme ici atteignant 0,4316, c'est-à-dire qu'environ 43% des observations ont été mal classées. Encore une fois, les modes ayant peu d'observations (AutoCond, Vélo et bimode) affichent un faible taux de rappel, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas été attribués à un mode auquel l'observation correspond dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Les modes bus scolaire et automobile passager ont des taux de rappel plus faibles malgré qu'ils soient les modes ayant le plus d'observations. Ceci est probablement causé par le fait que ces modes sont moins conditionnés par les propriétés des milieux, mais plutôt par des règlements scolaires et les choix modaux des parents.

**Tableau 15 - Prédiction et matrice de confusion de l'arbre de décision expliquant le choix modal des étudiants**

Taux d'erreur			43,1%										
Prédiction des valeurs			Matrice de confusion										
Valeur	Rappel	1-Précision	Mode attribué	AutoCond	AutoPass	Marche	TransComm	Vélo	BusScol	Bi-Mode	Autre	Tous	
AutoCond	0%	1,0000	Mode déclaré	AutoCond	0 (0%)	0	80	1593	0	253	0	0	1926
AutoPass	26,6%	0,5146		AutoPass	0	1 608 (27%)	1 872	1165	0	1411	0	0	6056
Marche	89,6%	0,4190		Marche	0	332	5 316 (90%)	156	0	128	0	0	5932
TransComm	81,9%	0,4533		TransComm	0	84	514	5820 (82%)	0	691	0	0	7109
Vélo	0%	1,0000		Vélo	0	37	225	141	0 (0%)	30	0	0	433
BusScol	56,1%	0,3766		BusScol	0	1 232	1127	1107	0	4435 (56%)	0	0	7901
Bi-Mode	0%	1,0000		Bi-Mode	0	2	0	569	0	77	0 (0%)	0	648
Autre	0%	1,0000		Autre	0	18	15	94	0	89	0 (0%)	0	216
			Tous	Tous	0	3 313	9149	10645	0	7114	0	0	30221

Le résultat de l'algorithme de segmentation appliqué aux étudiants est présenté à la Figure 58.

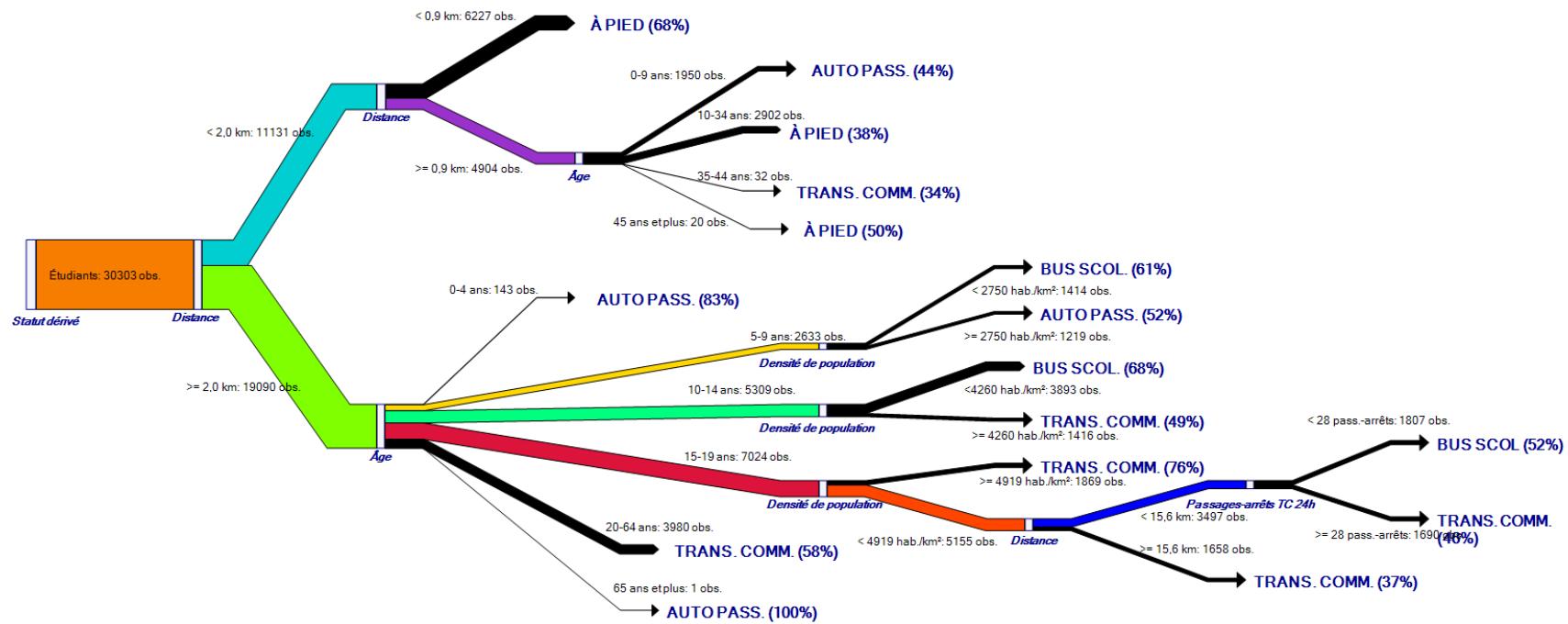


Figure 58 - Arbre de décision illustrant le choix modal des étudiants (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)

La distance a encore une fois le plus grand pouvoir de détermination du choix modal. La distance déterminante est cependant dans ce cas-ci inférieure à celle des travailleurs, se situant plutôt à 2,0 km. En deçà de cette distance, les choix modaux dépendent une fois de la distance et est attribuée systématiquement la marche à tous les déplacements inférieur à 900 m. Au-dessus de cette seconde distance discriminante, c'est l'âge qui détermine le choix modal, attribuant au fil du vieillissement, l'automobile conducteur, la marche, le transport en commun et l'automobile conducteur. Pour les déplacements supérieurs à 2,0 km, c'est l'âge qui est la deuxième variable la plus discriminante, suivie par la densité de population, la distance et finalement, la densité de passages-arrêts.

#### **4.4.3 Arbre de décision et modélisation**

Les deux arbres de décision précédents ont montré des taux d'erreur respectifs de 25 et de 43%. Ils sont donc en mesure de reproduire assez fidèlement les choix modaux effectués dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, si l'on compare à d'autres méthodes de modélisation. On remarque toutefois que certains modes ne sont pas du tout attribués compte tenu de leur faible nombre d'observations (le vélo, la bimodalité). La modélisation des modes peu fréquemment utilisés reste donc problématique avec cette méthode. L'utilisation de feuilles de plus petite taille aurait cependant pu faire diminuer le taux d'erreur et faire apparaître les modes moins utilisés dans les résultats.

Il sera de plus pertinent d'évaluer la dispersion spatiale des erreurs créées par l'algorithme lors de sa classification. Si certaines tendances spatiales s'avéraient, il y aurait lieu de considérer une autre préclassification des données source ou alors, utiliser d'autres variables plus spécifiques qui permettraient de pallier ces problèmes. Par exemple, si la part modale de la marche était surestimée aux abords d'une autoroute, on devrait considérer une variable qui tient davantage compte des obstacles à la marche.

Les arbres de décision sont cependant grandement conditionnés par la capacité de l'analyste à utiliser et présenter les résultats obtenus. En effet, un résultat très précis aura nécessairement un nombre de feuilles élevé et produira un arbre fortement étiolé et difficilement lisible. Inversement, réduire indument la taille des feuilles produira des arbres trop simples et qui ne donneront pas un bon taux d'erreur. Il incombe donc à l'analyste d'atteindre un équilibre entre le niveau de précision de la modélisation et la lisibilité et la transmission des résultats.

L'arbre de décision « choisit » une liste de variables explicatives et les ordonne selon leur niveau hiérarchique de « force » explicative. Cependant, il n'informe en rien sur la « force » explicative des variables, en termes numériques, lorsque considérées simultanément. L'arbre de décision ne remplace donc pas les modèles de type régression ou à choix discret. Par contre, il peut guider l'analyste dans le choix de variables pertinentes lors de l'élaboration d'un tel modèle. Il pourrait, par exemple, aider l'analyste à choisir un nombre restreint de variables pour créer un modèle simple.

L'arbre de décision a tout de même un pouvoir narratif important. La lecture de règles établies par l'algorithme vient souvent valider des « préjugés » de mobilité. Par exemple, pour de fortes distances, les travailleuses auront davantage tendance à utiliser le transport en commun que les hommes, qui utilisent presque systématiquement la voiture pour ce genre de déplacement. En observant de arbres plus détaillés, on peut également noter que les femmes ont bel et bien davantage tendance à être passagères que conductrices lorsqu'une seule voiture est disponible dans un couple. Comme quoi les villes imaginées à la mobilité sont encore tenaces aujourd'hui.

## CHAPITRE 5 - LE MARCHÉ POTENTIEL DES MODES

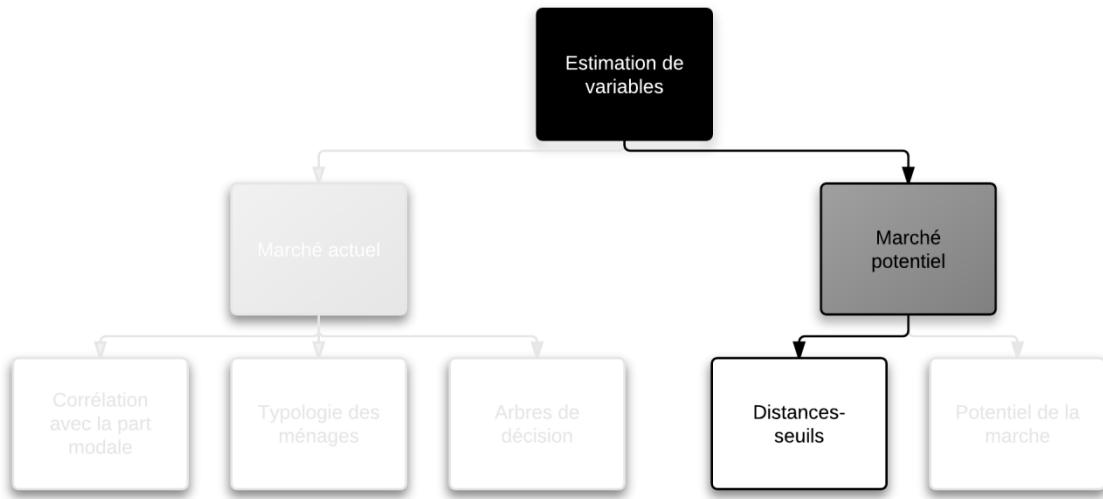
### 5.1 La distance comme variable-clé

Cette étude de ses déterminants du choix modal est particulière étant donné le fait qu'on s'attarde à la prévision de tous les modes, que ce soit l'automobile, le transport en commun, le vélo ou la marche. Il apparaît donc évident que tous ces modes de transport ne sont pas équivalents quant à leur potentiel. Une voiture aura bien entendu une plus grande flexibilité et une très grande capacité à effectuer des déplacements de longue distance. À contrario, la marche, bien que jouissant d'une grande flexibilité, ne peut être considérée que sur de courtes distances, étant donné sa vitesse très faible.

Il importe donc de vérifier l'impact que la distance a sur le choix modal et ce, en relation avec d'autres variables. L'étude de la distance sera ainsi privilégiée par rapport au coût généralisé de déplacement car il est impossible dans la conjoncture actuelle de bien évaluer le coût généralisé dans un contexte de mobilité durable. Par exemple, les notions actuelles de coût généralisé n'tiennent pas compte de la valeur de l'activité physique effectuée via les modes actifs ou du temps productif en cas d'utilisation du transport en commun ou du covoiturage. La variable distance est donc choisie comme alternative car elle permet de comparer les différents modes entre eux et d'envisager la prise en compte des modes alternatifs.

En outre, les arbres de décision présentés à la section 4.4 ont témoigné de l'importance de la distance dans la modélisation du choix modal en affichant, dans les exemples étudiés, la distance comme la première variable de segmentation. Ceci démontre l'importance de la distance comme discriminant lors de l'étude du choix modal.

Cette section se situe dans le cadre global méthodologique tel que montré à la Figure 59.



**Figure 59 - Position des distances-seuil dans le schéma méthodologique global**

## 5.2 Le concept de distance-seuil

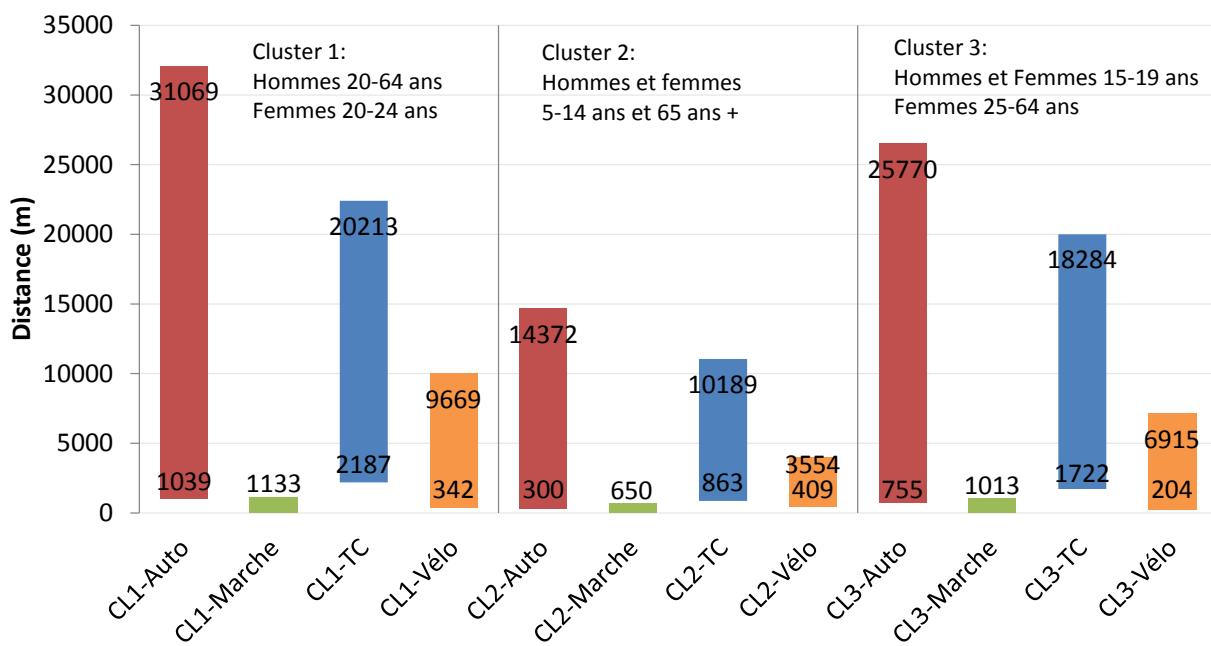
Il importe donc maintenant de considérer la relation entre la distance et le choix modal décrite à la section 4.2.10 avec plus de détail. En se rapportant à la Figure 35 de la section 4.2.10, on remarque que la part modale de la marche est plutôt élevée pour des déplacements de courte distance. La marche est donc compétitive face aux autres modes de transport pour des déplacements de ce type. Il reste toutefois difficile d'établir jusqu'à quelle distance la marche est compétitive. De plus, la marche étant un mode actif, celle-ci est conditionnée par la capacacité physique et les habitudes des personnes. Il importe donc d'établir un seuil de « compétitivité » en se basant sur les caractéristiques des personnes.

La marche est aussi plus compétitive que les autres modes sur de faibles distances, car elle enlève la nécessité de stationnement pour la voiture ou le vélo, ou des contraintes d'horaire pour le transport en commun. Il existe donc un seuil minimal à respecter pour établir la compétitivité entre ces modes.

Le seuil de « compétitivité » est donc établi selon une « distance-seuil » établie selon les observations de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Cette notion s'inspire des travaux de Godefroy et Morency (2010). Celle-ci représente la distance en deçà de laquelle, 90% des déplacements sont effectués pour la borne supérieure, et en deçà de laquelle 10% des déplacements sont effectués pour la borne inférieure. Ceci est effectué pour chaque mode, à

l'exception de la marche. Pour cette dernière, une distance-seuil maximale s'établissant à 1 à distance en deçà de laquelle 80% des déplacements sont effectués est calculée et la borne inférieure est fixée à 0. En effet, la marche n'est soumise à aucune contrainte de distances minimales telles que le stationnement ou les fréquences de passage. Ces distances-seuils ont été calculées selon plusieurs segments de population basés sur l'âge et le sexe, et ce, pour tous les modes.

Une typologie est ensuite créée selon une méthode de regroupement (*k*-moyens) pour agréger les segments ayant un comportement similaire, tel que montré à la Figure 60.



**Figure 60 - Univers de choix observés basés sur les distances-seuils de divers segments de population agrégés en 3 clusters (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

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

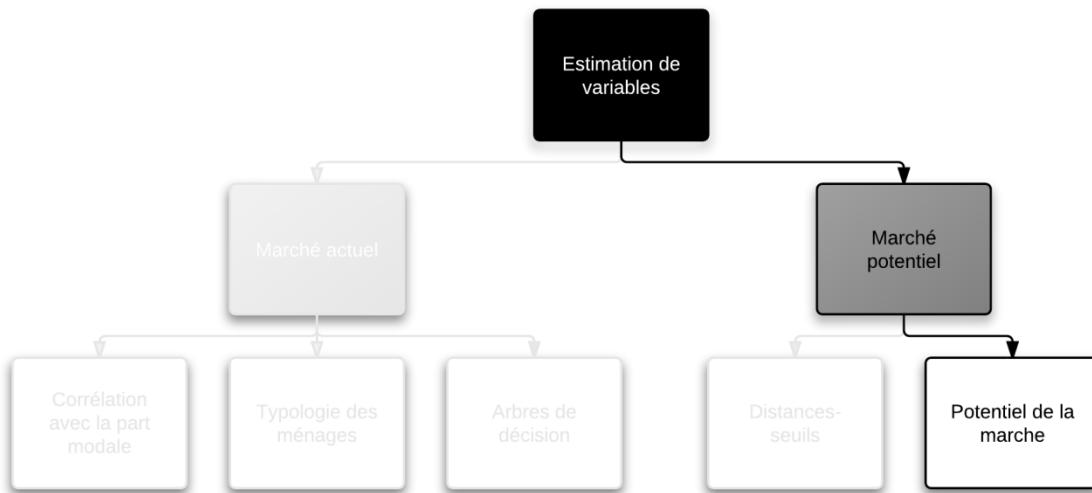
Les distances-seuils informent donc sur les aires de compétitivité des différents modes de transport en lien avec leur distance. Il pourrait donc être raisonnable, sur ces bases, de considérer qu'un déplacement se situant à l'intérieur d'une des plages montrées à la Figure 60, pourrait être effectué par toutes les options de modes de transport correspondantes à un segment de population donné. On pourrait donc donner des hypothèses liées aux propriétés intrinsèques des modes considérés, estimer le potentiel d'un mode de transport en « transférant » les déplacements qui correspondent aux mêmes plages de compétitivité, d'un mode à l'autre.

La section suivante fera donc cette démonstration en utilisant l'exemple de la marche. Cet exercice s'inscrit en continuité avec les travaux de Morency, Demers et Lapierre (2007) qui ont défini le concept de pas en réserve en se basant sur une évaluation du potentiel de la marche avec les données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2003. Morency, Rooda et Demers (2009) ont ensuite réappliqué ce concept aux données de Toronto et ont comparé les résultats ce qui a permis de constater que le nombre de pas en réserve et le nombre de déplacements transférables vers la marche sont comparables dans ces deux villes. Morency et Demers (2009) ont ensuite utilisé différentes longueurs d'enjambées afin de mieux prendre en compte les enfants dans le calcul du nombre de pas en réserve. Ceci a révélé que les enfants avaient des taux de déplacements transférables vers la marche et un nombre de pas en réserve plus élevé que le reste de la population. Finalement, Godefroy et Morency (2010) ont appliqué cette méthodologie au vélo et ont estimé le potentiel du vélo à Montréal en se basant sur les données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008.

### 5.3 Estimation du potentiel de la marche

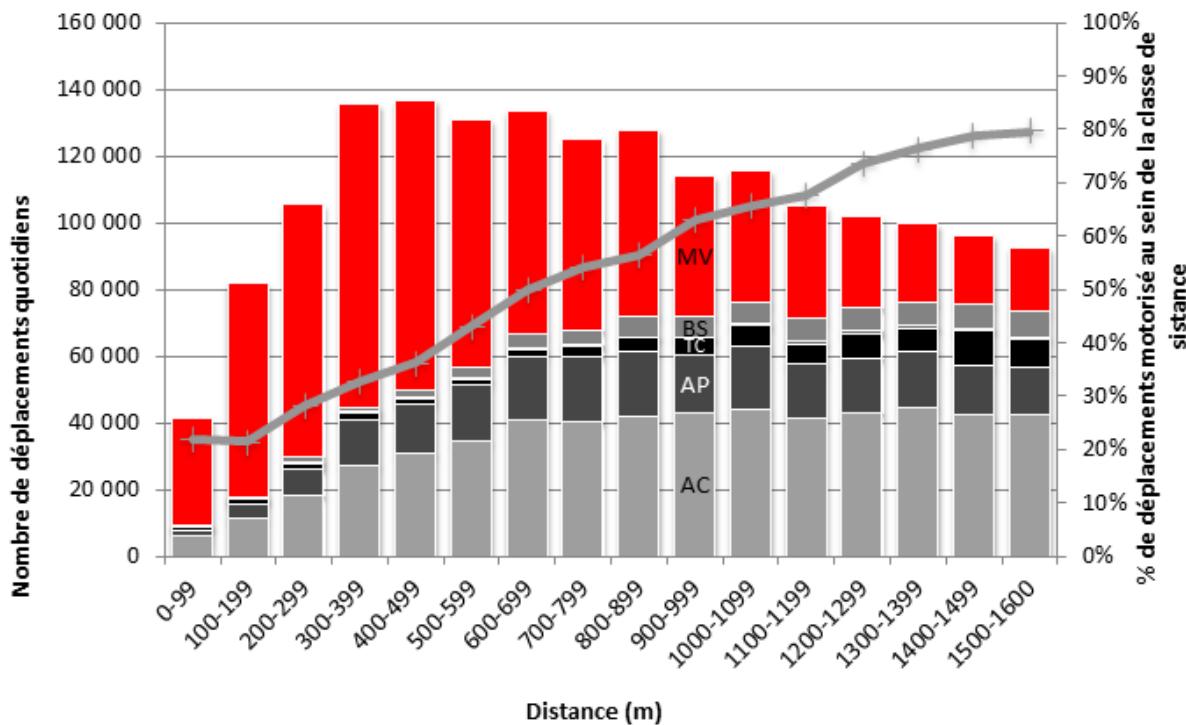
En utilisant le concept de distance-seuil comme base d'analyse, il sera ici tenté d'estimer le potentiel de la marche à Montréal. Par potentiel, il est ici entendu qu'il sera tenté de capturer dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 des déplacements provenant d'autres modes et qui pourraient potentiellement être effectués à la marche. Il est donc question ici, d'abord et avant tout, de distances de déplacement, mais également, d'obstacles au transfert vers la marche.

Cette section se situe dans la méthodologie globale tel que montré à la Figure 61.



**Figure 61 - Position du potentiel de la marche dans le schéma méthodologique global**

L'étude de parts modales pour les déplacements d'une distance inférieure à 1,6 km permet d'avoir une idée préliminaire du potentiel de la marche. Morency, Demers et Lapierre (2007) utilisaient cette distance-seuil pour évaluer les parts modales des déplacements courts de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2003. Une mise à jour de cet exercice avec les données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 est présentée à la Figure 62. On y remarque que la part modale des modes transports motorisés est relativement élevée même pour des déplacements de courte distance. Cette proportion augmente aussi à mesure que la distance augmente. Il y a donc un certain pourcentage de déplacements que l'on pourrait potentiellement effectuer à la marche au lieu d'un mode motorisé.



(AC = Automobile conducteur; AP = Automobile passager; TC = Transport en commun; BS = Bus scolaire; MV = Marche et vélo)

**Figure 62 - Distribution fréquentielle des longueurs de déplacements et de la répartition modale (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008)**

### 5.3.1 Détermination des distances-seuils de la marche

Les distances-seuils de la marche devront tout d'abord être calculées pour divers segments de population à fin de déterminer ce qu'est un déplacement « court » et donc, potentiellement transférable vers le mode marche. Ceci a été proposé par Morency et Demers (2009). Ces segments de population sont choisis en fonction de deux critères : (1) La capacité physique, donc, une prise en compte de l'évolution des capacités à se déplacer sur une longue distance compte tenu du développement ou de la condition physique des individus. Ceci est contrôlé principalement par les segments d'âge, plus fins pour les enfants, afin de prendre compte de leur croissance, et d'un segment de personnes âgées, pour considérer les pertes de capacités physiques liées au vieillissement. Ceci se reflète en de plus faibles longueurs de foulées pour ces segments de population, ce qui amène donc un plus grand nombre de pas à effectuer pour franchir une distance donnée. Le Tableau 16 montre l'évolution du nombre de pas nécessaires pour franchir une distance de 1 kilomètre en fonction de l'âge et du sexe. (Morency, Demers &

Lapierre 2007; Morency & Demers, 2009.); (2) le comportement de mobilité, contrôlé par l'âge et le sexe, a été segmenté en se basant principalement sur la variation du taux de mobilité en fonction de l'âge.

**Tableau 16 - Nombre de pas nécessaires pour franchir 1 km selon l'âge et le sexe.**

Segment population	Pas/km	
	Hommes	Femmes
5-6 ans	2035	2053
7-8 ans	1860	1860
9-10 ans	1713	1713
11-12 ans	1598	1546
13-14 ans	1443	1461
15-17 ans		
18-24 ans	1250	1250
25-40 ans		
41-64 ans		
65 ans +	1375	1375

On note la différence très marquée du nombre de pas entre un adulte et un jeune enfant, élément en lien avec la croissance. On note de plus une augmentation du nombre de pas pour les aînés, lié à la perte de capacité physique entraînée avec l'âge. On note toutefois la faible différence entre les hommes et les femmes, et ce, dans tous les segments d'âge. C'est donc pour tenir compte de cette évolution du nombre de pas par kilomètre que des segments d'âge très fins ont été utilisés pour les individus de 5 à 17 ans. Des segments plus grands ont ensuite été choisis pour les personnes adultes.

Les distances-seuils (D80) pour chacun des segments décrits précédemment sont donc déterminées en utilisant les données de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Comme précisé à la section 5.2, celles-ci correspondent, pour la marche, à la distance en deçà de laquelle 80% des déplacements « à pied » sont effectués. Les résultats présentés au Tableau 17 montrent bien la variation des distances-seuils entre les divers segments de population. Globalement, les

différences entre les hommes et les femmes sont minimes, et ce, pour tous les groupes d'âge. Par contre, l'effet de l'âge est très significatif. La distance-seuil de la marche augmente jusque dans la vingtaine pour ensuite diminuer à mesure que les personnes vieillissent.

**Tableau 17 - Distances seuil pour la marche (D80) en fonction des segments de population**

Âges	D80 Hommes (m)	D80 Femmes (m)
5-6 ans	650	645
7-8 ans	594	683
9-10 ans	692	680
11-12 ans	858	861
13-14 ans	1070	1111
15-17 ans	1107	1132
18-24 ans	1163	1121
25-40 ans	1082	1059
41-64 ans	1046	1036
65 ans +	1005	965

### 5.3.2 Calcul du potentiel de la marche

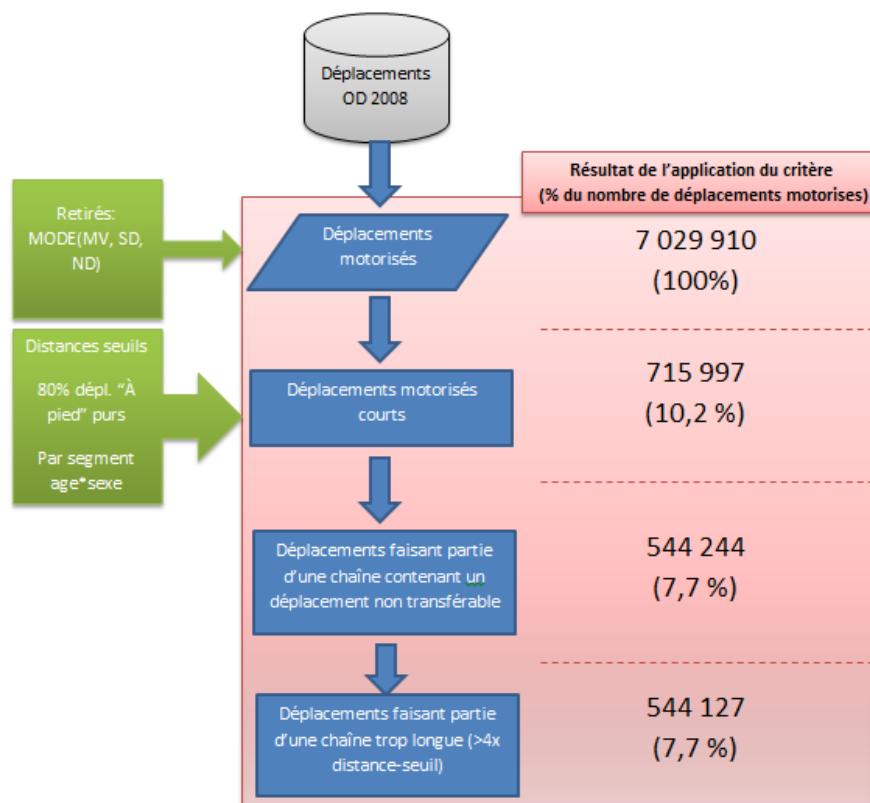
À partir de tous les déplacements de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, l'ensemble des déplacements motorisés est extrait. Les critères de distance-seuil indiqués à la section précédente sont ensuite appliqués afin d'isoler les déplacements courts motorisés. Ceci correspond donc au premier critère de transfert :

- (1) Les déplacements doivent être plus courts que la distance-seuil.

Ceci suffit à décrire le potentiel « brut » de la marche. Cependant, une telle évaluation de tient pas compte de l'intégration de ces déplacements dans le système d'activité des personnes. En effet, il est probable qu'un nombre important de ces déplacements courts soient en fait inclus dans des chaînes de déplacement complexes, ou très longues, qui rendraient un transfert vers la marche impossible. À cet effet, deux critères de transfert des déplacements courts motorisés vers le mode marche sont introduits :

- (2) Les déplacements ne doivent pas être compris dans une chaîne dont au moins 1 de ses segments n'est pas considéré comme « court » selon le critère de distance-seuil.
- (3) Les déplacements ne doivent pas être compris dans une chaîne trop longue, ici définie comme mesurant plus de 4 fois le critère de distance-seuil tel que proposé par Godefroy et Morency (2010) pour tenir compte des contraintes du budget-temps quotidien.

Le résultat de l'application de ces trois critères est illustré à la Figure 63. On peut voir que 10,1 % des déplacements motorisés de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 étaient courts, composant donc le potentiel brut de la marche. Une fois les deux critères liés aux chaînes de déplacement appliqués, on obtient une proportion de 7,7 % des déplacements motorisés qui sont considérés comme transférables vers la mode marche ce qui représente 544 127 déplacements quotidiens.



**Figure 63 – Schéma illustrant le potentiel de la marche (Enquête Origine-Destination de Montréal 2008) (Déplacements pondérés)**

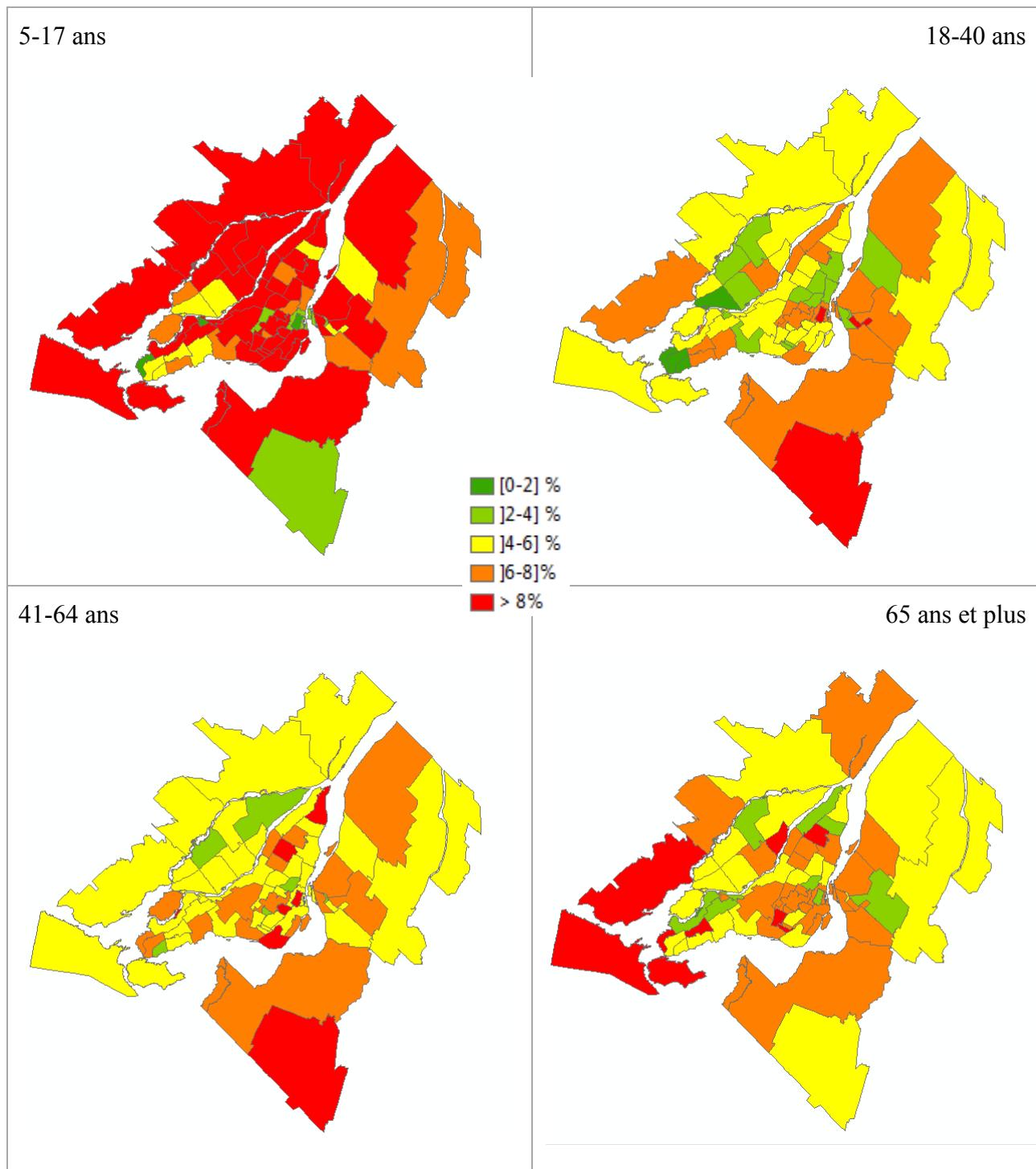
Le Tableau 18 montre quant à lui le nombre de déplacements transférables en fonction de l'âge et indique le nombre de personnes, par groupe d'âge, ayant effectué un déplacement transférable. On remarque que 8,3% des personnes ayant fait un déplacement en mode motorisé ont fait un déplacement transférable. De plus, ce sont les enfants qui sont les plus enclins à faire des déplacements motorisés qui auraient pu être transférés vers la même marche. Ceci est probablement explicable par le fait que les enfants sont souvent reconduits à l'école ou à leurs activités par les parents, en voiture.

**Tableau 18 - Proportion des déplacements non motorisés et des déplacements courts motorisés par segment de population (2008)**

OD 2008 Segment population	Distance seuil (m)		Déplacements transférables			
	Hommes	Femmes	Déplacements	Personnes		
			N	% Dépl. Mot.	N	%
5-14 ans	505	546	98 479	13,1%	53 196	12,1%
15-24 ans	1 277	1 149	56 949	6,0%	28 404	6,5%
25-34 ans	1 153	1 080	61 149	5,4%	27 336	5,9%
35-44 ans	1 037	842	100 847	7,2%	42 769	7,9%
45-54 ans	1 157	976	81 473	6,2%	36 140	6,8%
55-64 ans	1 024	1 016	69 478	8,3%	32 062	9,1%
65 ans +	854	775	75 752	11,2%	35 848	11,9%
<b>TOTAL</b>			<b>544 127</b>	<b>7,7%</b>	<b>255 755</b>	<b>8,3%</b>

Spatiallement, la distribution de personnes ayant des pas en réserve suit pas une tendance par rapport au centre-ville, tel que l'on peut le remarquer à la Figure 64. Par contre, on note, selon les segments d'âge, des différences appréciables du taux de personnes ayant des pas en réserve. Chez les enfants, la tendance semble assez généralisée, la plupart des secteurs montrant des taux de plus de 8% de personnes avec des pas en réserve.

Il faudrait donc tenter de créer un modèle expliquant la décision de marcher ou non pour un déplacement court. Celui-ci prendrait en compte les instances-seuils par segment de population et permettrait de mieux comprendre quelles variables expliquent cette décision. Ceci avait été proposé par Morency et coll. (2011).



**Figure 64 - Proportion de personnes avec des pas en réserve selon leur secteur de domicile**

### 5.3.3 Estimation des impacts

La conversion de ce nombre important de déplacements motorisés en déplacements actifs effectués à la marche nous informe sur ce que pourrait être le potentiel de la marche à Montréal.

Outre le nombre de déplacements, il serait intéressant de tenter d'évaluer les impacts qu'aurait ce transfert modal vers un mode actif, principalement sur la santé et l'environnement.

### 5.3.3.1 Pas en réserve et activité physique

Le Tableau 16 présenté à la section 5.3.1 montre comment les instances de recherche peuvent être converties en nombre de pas. Cette conversion doit nécessairement tenir compte de l'âge et du sexe des personnes étant donné la croissance des enfants et les limitations physiques liées au vieillissement. Une fois chaque un des déplacements autorisés transférables convertis en nombre de pas, tel que montré au Tableau 19, on remarque donc que plus de 600 millions de pas auraient pu être marchés s'ils avaient été transférés d'un mode motorisé vers la marche. Ces pas seront qualifiés de « en réserve » selon la terminologie développée par Morency, Demers et Lapierre (2007). Ainsi, en moyenne, chaque personne ayant effectué un déplacement transférable aurait 2 379 pas en réserve quotidiennement. Ceci aura évidemment un impact sur le niveau d'activité physique des personnes.

**Tableau 19 - Distribution des pas en réserve en fonction du segment de population (2008)**

<b>Segment</b>	<b>Pas en réserve</b>	<b>Déplacements</b>	<b>Personnes avec pas en réserve</b>		
			<b>N</b>	<b>%</b>	<b>Pas/personne</b>
5-14 ans	110 740 904	98 479	53 196	12,1%	2 082
15-24 ans	78 047 796	56 949	28 404	6,5%	2 748
25-34 ans	68 748 522	61 149	27 336	5,9%	2 515
35-44 ans	110 926 314	100 847	42 769	7,9%	2 594
45-54 ans	88 895 666	81 473	36 140	6,8%	2 460
55-64 ans	74 417 790	69 478	32 062	9,1%	2 321
65 ans +	76 667 379	75 752	35 848	11,9%	2 139
<b>TOTAL</b>	<b>608 444 372</b>	<b>544 127</b>	<b>255 755</b>	<b>8,3%</b>	<b>2 379</b>

Comme le montre le Tableau 20, davantage de femmes ont des pas en réserve. Cependant, leur nombre moyen de pas en réserve est sensiblement le même que les hommes. Il ne semble donc pas y avoir une forte tendance reliée au genre. D'autre part, le nombre de pas en réserve varie grandement en fonction de l'âge. Après un sommet entre 15 et 24 ans, le nombre de pas en réserve reste plutôt stable par la suite, mais tend à diminuer à partir de 44 ans. Le sommet atteint entre 15 et 24 ans provient probablement du fait que ce segment de population a les plus longues

distances-seuils. Ainsi, davantage de déplacements motorisés plus longs se retrouvent convertis en déplacements à la marche, ce qui résulte en un nombre de pas en réserve supérieur.

**Tableau 20 - Nombre de pas en réserve par âge et par sexe**

Classes d'âge	Pas en réserve			Nombre de personnes ayant des pas en réserve			Nombre de pas en réserve moyen par personne ayant des pas en réserve		
	Hommes	Femmes	Tous genres	Hommes	Femmes	Tous genres	Hommes	Femmes	Tous genres
<b>5-14</b>	54 391 221	56 349 683	110 740 904	26 752	26 444	53 196	2 033	2 131	2 082
<b>15-24</b>	41 269 322	36 778 475	78 047 796	14 708	13 696	28 404	2 806	2 685	2 748
<b>25-34</b>	29 076 254	39 672 268	68 748 522	11 678	15 658	27 336	2 490	2 534	2 515
<b>35-44</b>	47 772 407	63 153 907	110 926 314	18 940	23 829	42 769	2 522	2 650	2 594
<b>45-54</b>	41 743 119	47 152 547	88 895 666	16 388	19 752	36 140	2 547	2 387	2 460
<b>55-64</b>	35 018 320	39 399 470	74 417 790	14 601	17 461	32 062	2 398	2 256	2 321
<b>65+</b>	40 753 337	35 914 043	76 667 379	17 670	18 178	35 848	2 306	1 976	2 139
<b>Tous âges</b>	<b>290 023 980</b>	<b>318 420 392</b>	<b>608 444 372</b>	<b>120 737</b>	<b>135 018</b>	<b>255 755</b>	<b>2 402</b>	<b>2 358</b>	<b>2 379</b>

Le Tableau 21 semble corroborer cette hypothèse. En effet, on peut y voir que la cohorte de 15 à 24 ans a le plus faible taux de déplacements transférables motorisés. Ce serait donc leur longueur-seuil plus élevée qui rendrait leur nombre de pas en réserve plus important. Inversement, les personnes âgées et les ainés affichent les plus hauts taux de déplacements courts motorisés alors que leur nombre de pas en réserve est plus faible. Ceci serait donc causé par leurs plus faibles distances seuil, couplé au fait que leur nombre de pas par km est également plus élevé puisque l'on considère une réduction de la foulée chez les ainés.

**Tableau 21 - Proportion de déplacements courts transférables par segment de population**

Classe d'âge	Ratio Courts Mot/Mot pour 2008, par segments		
	Hommes	Femmes	Total
<b>5-14</b>	13,5%	14,1%	13,7%
<b>15-24</b>	7,8%	7,2%	7,5%
<b>25-34</b>	9,2%	10,9%	10,0%
<b>35-44</b>	11,1%	14,2%	12,7%
<b>45-54</b>	9,5%	10,3%	9,9%
<b>55-64</b>	11,2%	12,4%	11,8%
<b>65+</b>	14,3%	15,1%	14,7%
<b>Total</b>	<b>10,6%</b>	<b>11,9%</b>	<b>11,2%</b>

Le nombre de pas en réserve se décline également selon le mode de transport à la source du déplacement motorisé court. On remarque au Tableau 22 que l'automobile conducteur est, hormis pour le segment 5 à 14 ans, la plus importante source de déplacements courts motorisés. Pour la cohorte la plus jeune, on voit la grande influence qu'a l'automobile via la contribution des déplacements automobiles passagers au nombre de déplacements courts motorisés. L'autobus scolaire est également un grand contributeur de déplacements courts motorisés, fait tout de même surprenant étant donné que les distances scuils de ces groupes d'âge sont très faibles (toutes inférieures à 1 km).

**Tableau 22 - Distribution des pas en réserve selon les modes (2008)**

Segment	%AutoCond	%AutoPass	%TC	%BusScol	%AutresMot	Pas en réserve
5-14 ans	0,00%	68,88%	5,25%	25,45%	0,41%	110 740 904
15-24 ans	43,88%	20,31%	28,87%	6,16%	0,78%	78 047 796
25-34 ans	77,36%	11,47%	9,60%	0,00%	1,58%	68 748 522
35-44 ans	86,74%	6,67%	5,97%	0,00%	0,61%	110 926 314
45-54 ans	84,62%	9,45%	5,18%	0,00%	0,74%	88 895 666
55-64 ans	78,12%	13,93%	7,30%	0,00%	0,64%	74 417 790
65 ans +	69,16%	18,24%	10,86%	0,00%	1,74%	76 667 379
<b>TOTAL</b>	<b>60,82%</b>	<b>23,04%</b>	<b>9,85%</b>	<b>5,42%</b>	<b>0,87%</b>	<b>608 444 372</b>

Le transfert vers la marche de déplacements courts motorisés consisterait donc en une contribution potentielle au développement durable en augmentant le niveau d'activité physique d'un nombre important de personnes dans la région montréalaise.

### 5.3.3.2 Impacts sur les émissions de gaz à effet de serre

Si chaque déplacement court motorisé était plutôt effectué à la marche, une certaine quantité d'énergie ne serait pas dépensée et conséquemment, l'émission d'une quantité de gaz à effet de serre pourrait être évitée. On peut donc, sur les bases des modes sources et des distances parcourues, tenter d'estimer les GES évités. Les principales hypothèses liées aux taux d'émissions et aux taux d'occupation sont tirées du Tableau 7 de la section 2.3.1.3.

À partir des déplacements courts motorisés identifiés et des taux d'occupation utilisés, on calcule le nombre de passagers-kilomètre. Les taux d'émission de GES par passagers-km sont ensuite multipliés à ce nombre pour obtenir les émissions GES quotidiennes qui pourraient être

évitées. Pour les déplacements impliquant plus d'un mode, une répartition de distance entre les deux modes de 50% /50% a été fixée. Les résultats obtenus sont présentés au Tableau 23. Cette analyse, bien que sommaire, permet d'obtenir un ordre grandeur quant aux bénéfices qu'un tel changement de mode pourrait avoir sur l'environnement. Quotidiennement, ce seraient près de 70 tonnes de GES qui seraient évitées. Ceci est bien sûr un très faible nombre si l'on considère toutes les émissions de la grande région de Montréal. Cela s'explique par le fait que ceci n'est qu'un sous-échantillon de tous les déplacements et que ces déplacements sont de faible distance.

**Tableau 23 - Émissions de GES causées par les déplacements courts motorisés**

Mode motorisé	Hypothèse	Pass-km	Taux d'émission (g eqCO <sub>2</sub> /pass-km)	Émissions GES (t)
<b>Bus + Métro</b>	Métro = zero émission	1 835	28	0,05
<b>Bus</b>	≈ 30 pers. /bus	37 700	56	2,11
<b>Auto</b>	1,25 pers. / auto	311 241	214	66,61
<b>Bus scolaire</b>		20 254	29	0,59
<b>Auto + Métro ou Train</b>		49	107	0,01
<b>Total</b>		<b>371 079</b>		<b>69,36</b>

## CHAPITRE 6 - CONCLUSION

### 6.1 Rappel des contributions

La compréhension du processus de choix modal passe donc par l'analyse des variables qui tentent d'en expliquer les causes. L'intérêt face au sujet n'étant pas nouveau, les variables en jeu sont déjà assez bien connues. Il importe cependant désormais de pouvoir user de créativité dans la construction de ces variables et leur utilisation dans des analyses suivant des approches novatrices.

À partir de bases de données bien connues et facilement disponibles dans le contexte montréalais, un ensemble de variables a été estimé en reconnaissant une approche égocentrale, c'est-à-dire, en analysant les propriétés du milieu en se centrant sur un domicile. Ceci a l'avantage d'éliminer les effets frontières créés par les proches secteurs. Une meilleure estimation des caractéristiques du milieu bâti est donc tirée, ce qui peut avoir une grande incidence sur l'estimation des modes actifs ou collectifs. Toutes ces variables ont d'ailleurs montré des corrélations intéressantes avec le choix modal.

Cette nouvelle génération de variables a aussi l'avantage d'attribuer une valeur unique à chaque ménage de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008. Ceci rend possible l'utilisation des méthodes de segmentation de marché (*data mining*) afin de créer une typologie de ménages. Cette typologie permet de mieux visualiser le choix modal en résumant un nombre limité de profils de ménages et leurs comportements de mobilité. Ceci peut mener à des stratégies d'intervention ciblées vers des secteurs en particulier où la bonne intervention s'alignerait avec le bon type de clientèle.

Le *data mining* a également servi à créer un arbre de décision qui a pu décrire le choix modal pour un segment de population d'une manière originale. Celle-ci a permis de déduire des règles d'attribution de modes et connaître la hiérarchie des variables qui ont mené à cette attribution. On peut donc savoir de manière précise les variables qui expliquent le mieux un comportement de mobilité en fonction de ses propriétés.

Ceci a permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle la distance est la variable primordiale dans l'explication d'un choix d'un mode de transport. Cela nous a mené vers un regard plus

direct sur les distances parcourues et améliore le concept de distance-seuil. Celui-ci a montré comment les univers de choix modaux ne sont pas statiques mais que ceux-ci évoluent plutôt selon les segments de population. Ainsi, chaque personne ne choisit pas son mode de transport parmi les mêmes options en fonction de la distance qu'elle a à parcourir.

La distance-seuil a également permis d'établir les limites jusqu'auxquelles la marche est attractive comme mode de transport, et ce, en fonction des caractéristiques de la personne. Une fois cette limite connue pour chaque individu, il est possible de déterminer quels déplacements auraient pu théoriquement avoir été parcourus à la marche puisqu'ils se situent dans les limites de l'attractivité de la marche. Ceci a permis de déterminer qu'environ 7% de tous les déplacements en mode motorisé effectués à Montréal quotidiennement pourraient potentiellement être effectués à la marche. Un constat lourd de conséquence lorsqu'on considère les bienfaits de la marche sur la santé et l'environnement.

Ces analyses ouvrent la porte vers bien d'autres pistes à fin de mieux comprendre les déterminants du choix modal. La table étant maintenant mise en regard des variables égocentriques, il importe désormais de réfléchir à de nouvelles variables basées sur cette méthodologie. Celles-ci utiliseraient de sources de données plus représentatives et expliqueront des aspects de la mobilité non à bordés ici. Il importera aussi d'appliquer ces méthodes sur les origines et les destinations afin de mieux qualifier les déplacements qui dépendent des caractéristiques de ces milieux. D'autres techniques de modélisation pourront également tirer profit de ces variables tels que les modèles de régression, spécialement lorsque utilisés avec le concept de distance-seuil, pour déterminer les univers de choix modaux.

## 6.2 Limitations

### 6.2.1 Raffinement de l'estimation des distances

Il serait intéressant pour de nombreuses analyses subséquentes d'utiliser de distances de déplacement plus représentatives. Dans cette analyse, des distances Manhattan ont été utilisées pour tous les déplacements. Ceci a l'avantage de bien modéliser les déplacements courts en milieu urbain, mais entraîne des distorsions pour des déplacements plus longs.

Il serait donc avantageux de considérer une estimation des distances qui tient compte :

- (1) Du mode choisi
- (2) Du réseau correspondant au mode choisi.

Ainsi, chaque mode afficherait des distances qui sont plus représentatives de la réalité. Par exemple, un piéton n'a pas accès aux autoroutes, mais peut toutefois utiliser des raccourcis dans les parcs et n'a pas à tenir compte des sens de circulation.

### **6.2.2 Développement d'autres variables du voisinage**

Ce mémoire a présenté comment estimer des variables à l'échelle des voisinages des ménages, et en a présenté quelques exemples. Bien entendu, d'autres variables pourraient être créées selon les mêmes principes.

Pour mieux représenter le transport en commun, il faudrait utiliser une vision qui tient compte des périodes de la journée et de la variation inhérente du service de transport en commun.

L'utilisation de bases de données externes permettrait d'obtenir de meilleures estimations des densités commerciales, d'emplois et de population.

Le développement d'une variable décrivant la disponibilité du stationnement serait très utile à fin de mieux expliquer le choix modal de la voiture. Aussi faudra-t-il analyser cette variable au niveau des voisinages des origines et des destinations. En effet, puisque l'utilisation d'une automobile est tributaire de la disponibilité d'une place de stationnement à destination, ce qui, dans le cas d'une destination où peu de stationnements sont disponibles, pourrait entraîner un choix modal différent. De plus, dans certains quartiers où les stationnements sont rares, la crainte de « perdre » son privilège de stationnement d'origine lors d'un déplacement de courte durée effectué, pourrait mener à un choix modal différent.

Ce ne sont là que quelques exemples de variables du voisinage et les possibilités de nouvelles variables ne sont dépendantes que de la disponibilité de données de qualité.

### **6.2.3 Estimation des coûts généralisés**

Comme mentionné à quelques reprises dans ce document, il importe de développer une notion de coût généralisé qui tiendrait compte des différents aspects de la mobilité durable. Une

telle définition permettrait de mieux évaluer des modes actifs ou partagés en comparaison avec les modes plus traditionnels que sont la voiture et le transport en commun.

Celle-ci devrait, en plus de tenir compte des différents avantages qu'ont les modes actifs sur la santé et l'environnement, tenir compte des limitations d'autres modes qui sont souvent négligés (congestion, pénurie de stationnement, faible sécurité, confort, achalandage dans les trains, etc.)

## 6.3 Perspectives

### 6.3.1 Analyse point à point

Il serait intéressant de pouvoir comparer le choix modal de différentes personnes en les confrontant avec des déplacements « équivalents ». Par équivalent, on entend des déplacements qui sont correspondants de manière spatio-temporelle. Ceci est obtenu en isolant des déplacements dans l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008 qui ont des origines similaires, des destinations similaires et des heures de départ similaires. Comme on peut le voir à la Figure 65, les origines des déplacements doivent toutes être à moins de 500 m l'une de l'autre selon une distance Manhattan. Une fois des déplacements à origine similaire isolés, on valide que leurs heures de départ soient à moins de 30 minutes de différence les uns des autres. Finalement, lorsque leurs origines et leurs heures de départ concordent, on valide s'ils se destinent à des lieux séparés de moins de 500 m calculés selon une distance Manhattan.

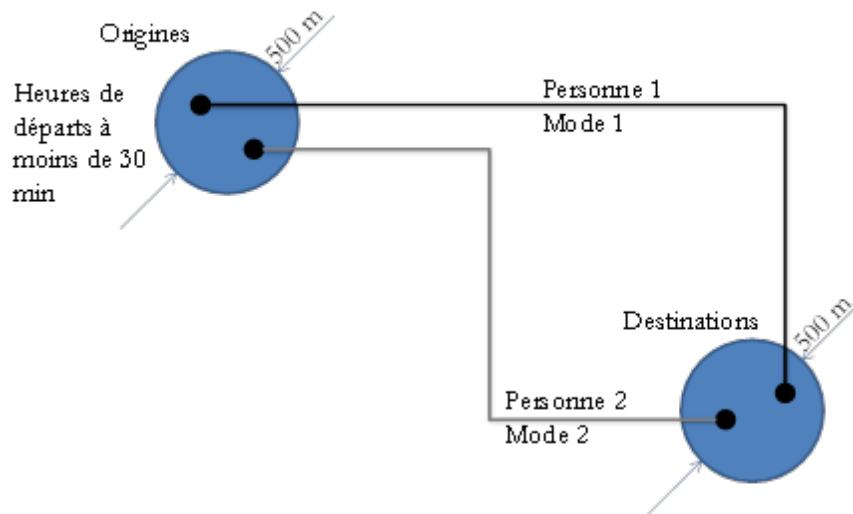
La distance de 500 m est choisie, car c'est une distance rapidement franchissable à la marche de telle sorte que l'on peut considérer que si un mode était accessible pour une personne pour un déplacement une autre personne ayant fait un déplacement similaire aurait pu choisir le même mode.

Ce type de procédure pourrait permettre deux types d'analyses :

- (1) Une analyse des déterminants des choix modaux pour des déplacements équivalents.

En effet, pour des déplacements équivalents, des personnes ont fait des choix modaux différents. Bien qu'à priori, les deux choix aient pu être effectués, il se peut que des caractéristiques bien précises des personnes ressortent en fonction des choix modaux effectués.

(2) Une analyse du potentiel du covoiturage. En effet, cette méthodologie permet de déceler des déplacements qui ont une concordance spatio-temporelle, élément primordial à l'efficacité du covoiturage. On pourrait donc évaluer la capacité de covoiturage de divers secteurs municipaux et en estimer les impacts.



**Figure 65 - Principe de l'analyse point à point**

Les bases de données contenants les déplacements équivalents de l'enquête Origine-Destination de Montréal pour 2003 et 2008 ont déjà été construites dans le cadre de ce mémoire. Aucune analyse particulière n'a été effectuée pour le moment, mais le potentiel de ces bases de données présente un certain intérêt.

Pour l'analyse point à point de l'enquête Origine-Destination de Montréal 2008, 56 280 paires de déplacements (non pondérés) équivalents ont été décelées, si on ne considère que les paires ayant des choix modaux différents pour les deux personnes. Le nombre d'observations semble donc suffisant pour faire une analyse intéressante.

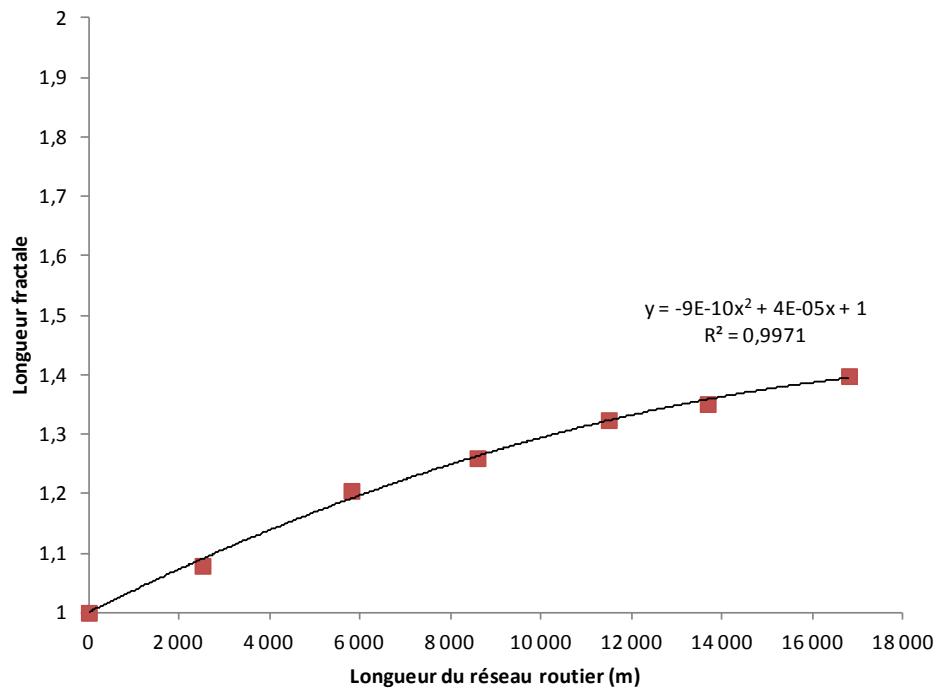
### 6.3.2 Dimension fractale

La dimension fractale est une mesure géométrique permettant de résumer la géométrie d'un élément complexe. Il serait intéressant d'explorer le potentiel de cette mesure et son utilisation dans un modèle d'explication du choix modal.

En utilisant comme exemple la variable décrivant la longueur du réseau routier présenté au Tableau 11 de la section 4.2.1, les longueurs de réseau routier des 6 exemples montrés ont été mises en relation avec leur longueur fractale. Celle-ci a été calculée à l'aide de la méthode du comptage de boîtes. Un exemple d'utilisation de ce genre de méthode peut être consulté dans Frankhauser (2008). Les résultats, illustrés à la Figure 66, montrent que la dimension fractale augmente en fonction de la longueur du réseau routier. Ceci est logique puisque plus la longueur du réseau routier augmente, plus la surface d'analyse devient recouverte par le réseau routier et s'apparente de plus en plus d'une surface plane qui aurait théoriquement une dimension fractale de 2. La dimension fractale associée à une longueur de réseau routier de 0 a été ajoutée sur les bases théoriques de la longueur fractale qui veut que la longueur fractale d'un point soit de 0, objet géométrique vers lequel la longueur du réseau tend lorsque sa longueur diminue.

La longueur fractale du réseau routier peut s'exprimer selon une fonction polynomiale du second ordre avec un  $R^2$  très élevé. Il semble donc exister une relation entre ces deux mesures qui justifierait une investigation plus approfondie. Les valeurs étudiées pour la longueur du réseau routier entre 0 et 18 km correspondent environ aux valeurs maximales et minimales observées à Montréal. La distribution ne pouvait afficher de valeurs négatives, il serait plus probable que des valeurs plus élevées que 18 km viennent modifier radicalement cette tendance.

Cette mesure innovatrice de la géométrie du milieu bâti mériterait donc qu'on s'y attarde plus longuement.



**Figure 66 - Longueur fractale pour différentes longueurs du réseau routier**

### 6.3.3 Modèles de régression

Les variables estimées dans le voisinage des ménages ont aussi le potentiel d'être utilisées dans une modélisation par régression. Il sera ainsi possible de quantifier précisément la valeur explicative de chacune de ces variables. De plus, il sera possible d'envisager un modèle à deux étapes qui, dans une première étape, attribuera un univers de modes à chaque personne selon la méthodologie des distances-seuils (Figure 60). Dans une deuxième étape, le modèle de régression attribuera un mode à chaque déplacement en fonction de ses nombreuses variables explicatives disponibles au sein de son univers de choix individuel.

## BIBLIOGRAPHIE

- Beaudet G., Morency, C., Sioui, L., Wolfe, P. (2010). *Étude sur la contribution du transport en commun au développement durable*. Association du transport urbain du Québec. Consulté le 28 juillet 2012, tiré de [http://www.atuq.com/\\_library/images/contentImages/ET\\_Contribution\\_TEC\\_Dev\\_durable\\_2010\\_7Mo.pdf](http://www.atuq.com/_library/images/contentImages/ET_Contribution_TEC_Dev_durable_2010_7Mo.pdf)
- Boillat, P. (2007). *De la mobilité à la mobilité durable : politiques de transport en milieu urbain*, enviro.07, Université de Genève, Observatoire universitaire de la mobilité, <http://www.unige.ch/ses/geo/oum/doc/Presentation%20Enviro07.pdf>
- Britton, E. (1999). Car sharing 2000 - A hammer for sustainable development. *The journal of World Transport Policy & Practice*. Special issue. A collaborative International project from the Commons, Eco-Logica Ltd. Lancaster, U.K. 293 p. Tiré de , <http://www.communauto.com/images/CarShare2000.pdf>
- Brownson, R.C., Buehler, T.K. (2005). *Patterns and Trends in Physical Activity, Occupation, Transportation, Land Use, and Sedentary Behaviors*. TRB Special Report 282 : Does the Built Environment Influence Physical Activity? Examining the Evidence. Tiré de , <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/downloads/sr282papers/sr282Brownson.pdf>
- Cao, X., Handy, S.L., Mokhtarian, P.L. (2006). *The influences of the built environment and residential self-selection on pedestrian behaviour in Austin, Texas*. Transportation 33 (1), 1–20.
- Caulfield, B. (2011). Identifying the Characteristics of Households with Multiple Car Ownership. *Transportation Research Board Annual Meeting 2011*. Paper #11-0312.
- Cervero, R., Kockelman, K., (1997). Travel Demand and Trends : Density, Diversity, and Design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 2, no 3, p. 199-219.
- Derek Halden Consultancy. (2003) *Transport Research Series : Barriers to Modal Shift*. Scottish Executive Social Research, Transport Research Planning Group. Tiré de , <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/47176/0026887.pdf>.

- Elvik, R. (2009). The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 41, Issue 4, p. 849-855.
- Ewing, R., Cervero, R. (2001). Travel and the Built Environment: A Synthesis. *Transportation Research Record*, Volume 1780, p. 87-114.
- Ewing, R., Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A meta-analysis. *Journal of the American Planning Association*, Volume 76, no 3, p.265-294.
- Frankhauser, P. (2008). Fractal Geometry for Measuring and Modelling Urban Patterns. *The Dynamics of Complex Urban Systems*. Physica-Verlag. New York. p. 213-243
- Gagnon, L. (2006). Comparaison des options énergétiques : Émissions de gaz à effet de serre des options de transport des personnes et de marchandises. Hydro-Québec, Direction – Environnement. Tiré de , [http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/documentation/pdf/options\\_energetiques/transport\\_fr\\_2006.pdf](http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/documentation/pdf/options_energetiques/transport_fr_2006.pdf).
- Godefroy, F., Morency, C. (2010). *Estimating Latent Cycling Trips in Montreal*. Article présenté lors de la conférence : TRB 91st Annual Meeting. Tiré de, <http://docs.trb.org/prp/12-0153.pdf>.
- Hadden, J. K. (1962). The Use Of Public Transportation In Milwaukee, Wisconsin. *Traffic Quarterly*. Volume 18, no. 2. p. 219-232.
- Handy, S.L., Clifton, K.J. (2001). *Local shopping as a strategy for reducing automobile travel*. *Transportation* 28 (4), 317–346.
- Kaufmann, V., Stofer, S. (1995). *Le report modal de l'automobile vers les transports publics : rapport de synthèse*. Thèse. Lausanne : EPFL, Rapport de recherche no 126, p. 54-55.
- Li, H., Guensler, R., Ogle, J. (2004). Comparing Women's and Men's Morning Commute Trip Chaining in Atlanta, Georgia, by Using Instrumented Vehicle Activity Data. *Research on Women's Issues in Transportation, Report of a Conference. Volume 2: Technical Paper*. Transportation Research Board of the National Academies.
- Litman, T., Steele, R. (2011). *Land Use Impacts on Transport : How Land Use Factors Affect Behavior*. Victoria Transport Policy Institute. Tiré de, <http://www.vtpi.org/landtravel.pdf>.

- MacQueen, J. B . (1967): Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. Berkeley, University of California Press, 1:281-297.
- Mamon, J., Marshall, H. (1977). The use of public transportation in urban areas: Toward a causal model. *Demography*. Volume 14, no 1. p. 19-31.
- Marcellin, S., Zighed, D., A., Ritschard, G. (2008). *Évaluation de critères asymétriques pour les arbres de décision*. Article présenté lors de la conférence Qualité des données et connaissances 2008. Téléchargé de , [http://conferences.telecom-bretagne.eu/data/qcd2008/marcellin\\_et\\_al\\_QDC\\_2008.pdf](http://conferences.telecom-bretagne.eu/data/qcd2008/marcellin_et_al_QDC_2008.pdf).
- Marcon, E . ( 2012). Mesures de la biodiversité. UMR EcoFoG. Téléchargé de , [http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/mesures\\_de\\_la\\_biodiversite.pdf](http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/mesures_de_la_biodiversite.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs ( 2009). *Cible de réduction des émissions de gaz avec une cible de -20% pour 2020, le Québec est un leader dans la lutte aux changements climatiques*. Communiqué de presse. Téléchargé de , <http://www.mddep.gouv.qc.ca/infuseur/communiquer.asp?no=1591>.
- Morency, C ., Demers, M . (2009). Active transportation as a way to increase physical activity among children. *Child: Care, Health and Development*. Volume 36, no 3. p.421-427.
- Morency, C ., Demers, M ., Lapierre ( 2007). How Many Steps Does One Have in Reserve? Thoughts and Measures About a Healthier Way to Travel. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. No. 2002. p. 1-6.
- Morency, C ., Demers, M ., Trépanier, M . (2011). Walking to transit: An Unexpected Source of Physical Activity. *Transport Policy*. No. 18. p. 800-806.
- Morency, C ., Roorda, M. J ., Demers, M ., (2009). Steps in Reserve : Comparing Latent Walk Trips in Toronto, Ontario and Montreal, Quebec, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. No. 2140. p. 111-119.
- Morency, C ., Trépanier, M ., Tremblay, V ., Poliquin, É. (2011). Insights on the Determinants of Walk Trips Using Large Scale Travel Survey Data. *First T&DI Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow*. p. 96.

- Pucher, J., Dijkstra, L. (2000). Making Walking and Cycling Safer: Lessons From Europe. *Transportation Quarterly*. No. 54. p. 25-50.
- Rakotomalala, R . (2005). Arbres de décision. *Revue MODULAD*. No. 33. Tiré de, [http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/doc/tutoriel\\_arbre\\_revue\\_modulad\\_33.pdf](http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/doc/tutoriel_arbre_revue_modulad_33.pdf).
- Rosenbloom, S . ( 2006). Understanding Women's and Men's Travel Patterns :The Research Challenge. *Research on Women's Issues in Transportation, Report of a Conference. Volume 1: Conference Overview And Plenary Papers*. Transportation Research Board of the National Academies.
- Sabir, M ., Rietveld, P ., Koeleste, M .J. and Van Ommeren, J . ( 2010). *The Impact of Weather Conditions on Mode Choice*, Working paper, Department of Spatial Economics, VU University, Amsterdam. Tiré de , <http://www.webmeets.com/files/papers/EAERE/2009/1021/Sabir.pdf>.
- Scheiner, J . ( 2010). Interrelations between travel mode choice and trip distance: trends in Germany 1976–2002. *Journal of Transport Geography*. Volume 18, no 1. p. 75-84.
- Sibson, R . (1973). SLINK: an optimally efficient algorithm for the single-link cluster method. *The Computer Journal*. British Computer Society. Volume 16, no. 1. p. 30 –34. Tiré de, [http://www.cs.gsu.edu/~wkim/index\\_files/papers/sibson.pdf](http://www.cs.gsu.edu/~wkim/index_files/papers/sibson.pdf).
- Sioui, L ., Morency, C . ( 2011). Parabole théorique : Dans l'automobile ou l'autobus, quel passager consomme moins de carburant ?. *Routes & transports*. Volume 40, no. 1. p. 21-23.
- Tin Tin, S., Woodward, A., Thornley, S., Ameratunga, S. (2009). Cycling and walking to work in New Zealand, 1991 -2006: regional and individual differences, and pointers to effective interventions. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. Volume 6, no 64.
- Tremblay, V. (2009). *Analyse des déterminants et des obstacles à la marche dans différents secteurs de la GRM*. Rapport de projet présenté dans le cadre du programme de maîtrise en ingénierie ( génie civil). Université de Montréal, École Polytechnique de Montréal, Département des génies civil, géologique et des mines.

- Tremblay,V., Morency, C., Trépanier, M. (2009). *Assessing the determinants of walk trips using travel survey data*. Article soumis pour publication. Université de Montréal, École Polytechnique de Montréal, Département des génies civil, géologique et des mines.
- Union internationale des transports publics. (2011). *Public transport: the smart green solution! Doubling market share worldwide by 2025*. Tiré de , [http://www.ptx2uitp.org/sites/default/files UITP-PTstrategy\\_fullbrochure-EN.pdf](http://www.ptx2uitp.org/sites/default/files UITP-PTstrategy_fullbrochure-EN.pdf).
- Valiquette, F . ( 2010). *Typologie des chaînes de déplacement et modélisation descriptive des systèmes d'activités des personnes*. Mémoire de maîtrise. École polytechnique de Montréal. Département des génies civil, géologique et des mines. Tiré de , [http://publications.polymtl.ca/405/1/2010\\_FrancoisValiquette.pdf](http://publications.polymtl.ca/405/1/2010_FrancoisValiquette.pdf)
- Ville de Montréal ( 2010). *Montréal en statistiques - Population totale et variation de la population, agglomération de Montréal*. Tiré de , [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=6897,67887840&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67887840&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. Wiley. Hoboken, NJ. 624 p.
- Wegener, M . (2004). “Chapter 9: Overview of Land Use Transport Models.”, Handbook of Transport Geography and Spatial Systems, Rédigé par: Hensher, D . A., Emerald Group Publishing, 672 p.
- 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*. Volume 41. p. 96-113.
- Zegras, P. C. (2005). Sustainable urban mobility : exploring the role of the built environment. Thèse de doctorat. Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Urban Studies and Planning. Tiré de, <http://web.mit.edu/czegras/www/Final%20VersionV3.pdf>.