

**Titre:** Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et  
Title: chaînes de déplacements

**Auteur:** Gabriel Sicotte  
Author:

**Date:** 2014

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

**Référence:** Sicotte, G. (2014). Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et  
chaînes de déplacements [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de  
Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/1657/>  
Citation:

## Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/1657/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:** Catherine Morency, & Bilal Farooq  
Advisors:

**Programme:** Génie civil  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MODÉLISATION DE L'INTERDÉPENDANCE ENTRE MODES DE  
TRANSPORT ET CHAÎNES DE DÉPLACEMENTS

GABRIEL SICOTTE

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)  
DÉCEMBRE 2014

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MODÉLISATION DE L'INTERDÉPENDANCE ENTRE MODES DE  
TRANSPORT ET CHAÎNES DE DÉPLACEMENTS

présenté par : SICOTTE Gabriel

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 directrice de recherche

M. FAROOQ Bilal, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

M. PATTERSON Zachary, Ph. D., membre

## **REMERCIEMENTS**

Tout d'abord, je souhaite remercier ma directrice de maîtrise, Catherine Morency, de m'avoir donné l'opportunité d'étudier à ses côtés. Le dévouement et l'enthousiasme qu'elle accorde à son travail sont une réelle inspiration.

Je tiens également à remercier mon codirecteur, Bilal Farooq, pour sa générosité et ses précieux conseils en matière de modélisation. Sa persévérance dans l'apprentissage du français est admirable.

Je souhaite également remercier tous mes collègues et amis pour leur accueil et support. Les souvenirs de mon passage à Polytechnique resteront teintés de nos vifs échanges et nombreuses activités.

Un merci très spécial à ma copine, Stéphanie Dalcourt, pour son soutien moral et sa grande compréhension tout au long de la dernière année. Je suis chanceux de pouvoir compter sur toi!

## RÉSUMÉ

Alors que la mobilité se complexifie, que ce soit à cause de l'étalement urbain, de l'éclatement des activités sur le territoire ou de la diversification des alternatives de transport, il importe de mieux comprendre les facteurs qui influencent les habitudes de mobilité et leur impact sur le choix modal. Néanmoins, les modèles typiques de transfert et choix modaux traitent les déplacements de façon indépendante, sans considération de la structure complète de la chaîne de déplacements. Également, les modes alternatifs et actifs sont souvent négligés.

Ce projet de recherche vise à mieux comprendre l'interdépendance entre le choix modal et la structure spatio-temporelle des chaînes de déplacements. C'est-à-dire qu'on souhaite démontrer et mesurer les effets positifs d'une intégration de la chaîne de déplacements au sein des outils d'analyse du choix modal. Différents objectifs s'inscrivent au sein de l'objectif principal du projet de recherche :

1. Identifier et mesurer les variables ayant une incidence sur le choix du mode de transport au sein de la chaîne de déplacements.
2. Établir une typologie des modes de transport. Dans cette optique, les différents modes sont classés en trois catégories selon la nécessité pour l'individu qui les utilise de revenir à un point d'ancrage afin de les récupérer.
3. Établir une typologie des chaînes de déplacement afin de permettre l'énumération des séquences modales possibles pour effectuer une chaîne.
4. Étudier les modes alternatifs émergents. Certains de ces modes ont le désavantage de ne pas faire l'objet de nombreuses études, spécifiquement dans un contexte de formulation d'un modèle de choix, ce qui complique leur intégration au sein de tels modèles.

Premièrement, ce projet de recherche est l'occasion d'étudier l'effet de différentes variables sur le choix modal de la chaîne de déplacement. Des variables de la personne, du ménage, du milieu bâti et de la chaîne elle-même ont été croisées avec le choix modal observé des chaînes de l'Enquête Origine-Destination 2008 de la Grande Région de Montréal afin d'étudier les variations des habitudes de transport des individus. Cela a permis d'identifier les variables qui ont un effet significatif sur le choix du mode et qui peuvent ainsi bonifier les fonctions d'utilité d'un modèle de choix modal. Notamment, les variables égocentrees du milieu bâti, un concept

élaboré par Martel-Poliquin (2012), semblent étroitement liées au mode de déplacement de la chaîne. C'est pour cette raison qu'une méthode est proposée afin d'automatiser l'estimation de ces variables à partir d'un outil qui pourra être amélioré au fur et à mesure que de nouvelles variables seront disponibles.

Deuxièmement, une des contributions principales de ce projet de recherche est d'établir une typologie permettant de catégoriser les modes selon la nécessité de revenir les récupérer à un point d'ancrage. Ainsi, les modes « avec ancrage » sont ceux qui nécessitent que l'individu revienne les récupérer au point d'ancrage où ils ont été stationnés, sinon ils ne seraient plus disponibles pour les prochains déplacements ou chaînes suivantes. Les modes « sans ancrage » sont ceux qui offrent beaucoup plus de flexibilité à la personne étant donné qu'ils n'engagent aucune contrainte pour les déplacements suivants de la chaîne. En effet, ils ne sont associés à aucun point d'ancrage, car ils n'ont pas besoin d'être stationnés. Une catégorie entre les deux précédentes, les modes « avec ancrage transportable », inclue les modes qui peuvent être stationnés à un point d'ancrage et donc nécessitent que l'usager y revienne pour le récupérer, mais ils peuvent aussi être transportés à bord d'un autre mode de transport étant donné leur poids et dimension accommodants. Les séquences bimodales sont également classées selon ces différentes catégories selon la présence d'un mode « avec ancrage » parmi les modes les composant.

Troisièmement, à partir de cette catégorisation des modes, une typologie formalisée des chaînes de déplacements est établie afin de permettre l'énumération des séquences modales possibles pour la compléter. Cette typologie s'inspire fortement des travaux de Valiquette (2010), mais dans ce cas-ci le nombre exact d'activités constitue un paramètre important de la chaîne. On constate alors que 97,85% des chaînes effectuées par les habitants de la GRM en 2008 se concentrent dans seulement quatre types de chaînes : simple (86,24%), complexe mono-boucle avec deux activités (8,42%), complexe multi-boucle avec trois activités (1,66%) et complexe mono-boucle avec trois activités (1,55%). Les 2,15 % restants sont divisés parmi 29 autres types de chaînes variant entre 0,41% et 0,001% de l'échantillon total des chaînes. L'énumération des séquences modales possibles prend toute son importance dans le contexte de la modélisation. Par exemple, une chaîne simple ne pourra pas être complétée à partir de n'importe quelle séquence de modes. En effet, si le premier déplacement est effectué avec un mode « avec ancrage », alors le déplacement suivant ne pourra se faire avec un mode « sans ancrage » et vice-versa. Ainsi, ces

séquences possibles selon le type de chaîne de déplacements doivent être prises en compte lors de l'élaboration de l'ensemble de choix d'un modèle.

Quatrièmement, ce projet de recherche contribue à approfondir les paramètres du coût généralisé des modes de transport. Effectivement, alors que les coûts associés à l'utilisation des modes sont généralement limités au temps de déplacement (temps de marche, temps d'attente et temps à bord du véhicule dans le cas des transports en commun) et au coût monétaire déboursé, différents paramètres du mode sont également associés au choix modal, mais sont pratiquement absents au sein de la littérature. Les modes alternatifs émergents sont également négligés. Ainsi, une démarche est proposée afin de définir les paramètres composant les modes disponibles au sein du cocktail de transport montréalais afin de pouvoir les intégrer éventuellement aux modèles de choix et transfert modal.

Cinquièmement, ce projet de recherche contribue à mettre en lumière l'interdépendance du mode de transport et de la chaîne de déplacements en expérimentant l'intégration de ce concept à un modèle de choix modal dans le cadre d'une étude de cas sur les chaînes simples du corridor de train Vaudreuil-Hudson. En comparant ce modèle basé sur les chaînes à un modèle basé sur les déplacements individuels estimé avec environ 80% des mêmes variables, les bénéfices de la méthode proposée dans ce projet de recherche sont mis en évidence. Effectivement, alors que la simulation du choix modal faite à partir du modèle basé sur les déplacements présente un taux de succès de 12,74%, celui du modèle basé sur les chaînes est de 72,15%. Ainsi, une nette amélioration des performances du modèle de choix modal est observée par l'intégration du concept de chaîne de déplacement, notamment pour l'automobile conducteur (89,35% contre 10,84%), le train (84,57% contre 18,10%) et le *Park and Ride* (73,09% contre 12,91%).

## ABSTRACT

While mobility is becoming more complex, either because of urban sprawl, splitting activities on the territory or the diversification of transport alternatives, it is important to understand the factors that influence mobility patterns and their impact on modal choice. Nevertheless, the typical patterns of transfer and modal choice treat the trips independently, regardless of the complete structure of the trip chain. Also, alternative and active modes are often overlooked.

This research project aims to a better understanding of the interdependency between modal choice and the spatiotemporal structure of trip chains. That is to say, we want to demonstrate and measure the positive effects of integrating the concept of trip chain in mode choice analysis tools. Different objectives fall within the main objective of the research project:

1. Identify and measure the variables that affect the mode choice within the chain.
2. Establish a typology of transportation modes. In this context, the different modes will be classified into three categories according to the need for the individual who uses them to return to an anchor point to retrieve it.
3. Establish a typology of trip chain to allow enumeration of possible modal sequences to perform a chain.
4. Examine emerging alternative modes. Some of these have the disadvantage of not being the subject of many studies, specifically in the context of formulating a mode choice model, which complicates their integration in such models.

First, this research project is the opportunity to study the effect of different variables on the modal split of the trip chain. Variables related to the person, the household, the built environment and the chain itself were crossed with the modal split of observed chains from the Origin-Destination Survey 2008 of the Greater Montreal Area to study the changes in transportation habits of individuals. This helped to identify the variables that have a significant effect on the mode choice and can thus enhance the utility functions of a modal choice model. In particular, the egocentric variables of the built environment, a concept developed by Martel-Poliquin (2012), appear to be closely related to the mode of trip chain. It's for this reason that a method is proposed to automatize the estimation of these variables.

Second, one of the main contributions of this research project is to establish a typology for categorizing modes with the need from the user to return to an anchor to retrieve it. Thus, the modes "with anchor" are those that require the individual to return at the anchor point where they were parked to retrieve it, otherwise it would not be available for the next following travel or chains. Modes "unanchored" are those that offer much more flexibility to the person as they do not engage any constraint for the following movements of the chain. Indeed, they are not associated with any anchor, because they do not need to be parked. A category between the previous two, the "transportable with anchor point" modes include modes that can be parked at anchor and require the user to return to retrieve, but they can also be carried on board of another mode of transport because of their weight and accommodating dimension. The bimodal sequences are also classified according to these categories depending on the presence of a mode "with anchor" among the modes composing the sequence.

Third, from this categorization of modes, a typology of formalized trip chains is established to allow enumeration of possible modal sequences to complete it. This typology draws heavily on the work of Valiquette (2010), but in this case the exact number of activities is an important parameter of the chain. It is then found that 97.85% of the chains made by the inhabitants of the Greater Montreal Area in 2008 are concentrated in only four types of chains: single (86.24%), complex mono loop with two activities (8.42%), complex multi-loop with three activities (1.66%) and complex single-loop with three activities (1.55%). The 2.15% left is divided among 29 other chains varying between 0.41% and 0.001% of the total sample. The list of possible modal sequences becomes important in the context of modeling. For example, a simple chain cannot be completed from any sequence modes. Indeed, if the first trip is executed with a "with anchor" mode, then the next trip cannot be done with a "unanchored" mode and vice versa. Thus, these possible sequences according to the type of trip chain must be considered in the development of the entire selection of a model.

Fourth, this research helps studying the parameters of the generalized cost of transportation. Indeed, while the costs associated with the use of the modes are generally limited to the travel time (walking time, waiting time and time spent in vehicle) and monetary cost, different mode parameters are also associated with modal choice, but are almost absent in the literature. Emerging alternatives are also neglected. Thus, an approach is proposed to define the parameters

of all modes available within the Montreal transportation cocktail in order to eventually integrate them to modal choice and modal shift.

Fifth, this research helps to highlight the interdependency of transport mode and trip chain experimenting the integration of this concept to a modal choice model in the context of a case study on simple chain within the Vaudreuil-Hudson train corridor. Comparing this model based on chains to a model based on individual trips estimated with about 80% of the same variables, the benefits of the proposed method in this research are highlighted. Indeed, while the simulation of mode choice made from the model based on trips has a success rate of 12.74%, that of the model based on chains is 72.15%. Thus, a significant improvement is observed by incorporating the concept of trip chain to a mode choice model, especially for the automobile driver (89.35% against 10.84%), train (84.57% against 18.10%) and Park and Ride (73.09% against 12.91%).

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	III
RÉSUMÉ .....	IV
ABSTRACT .....	VII
TABLE DES MATIÈRES .....	X
LISTE DES TABLEAUX .....	XIII
LISTE DES FIGURES .....	XV
LISTE DES ANNEXES .....	XXI
CHAPITRE 1 INTRODUCTION .....	1
1.1 Mise en contexte .....	1
1.2 Objectifs de la recherche .....	2
1.3 Structure du document .....	4
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE .....	6
2.1 La chaîne de déplacements : définitions et concepts .....	6
2.1.1 Évolution des définitions .....	6
2.1.2 Les concepts sous-jacents de la chaîne .....	8
2.1.3 Définitions des différents types de chaînes .....	9
2.2 Qu'est-ce que le choix modal? .....	12
2.2.1 Définition .....	12
2.2.2 Choix modal et planification .....	13
2.2.3 Modélisation : choix discret .....	13
2.3 Études précédentes sur l'interdépendance du mode de transport et la chaîne de déplacements .....	16
2.3.1 Variables explicatives du choix modal de la chaîne .....	17

2.3.2 Modèles de choix modal existants .....	23
<b>CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>28</b>
3.1 La structure spatio-temporelle de la chaîne reste la même .....	28
3.2 Source des données .....	29
3.3 Caractérisation des chaînes de l'Enquête Origine-Destination .....	30
3.3.1 Variables de la personne.....	32
3.3.2 Variables du ménage .....	35
3.3.3 Variables du milieu bâti.....	41
3.3.4 Variables de la chaîne de déplacements .....	50
3.4 Cadre conceptuel.....	62
3.4.1 Catégorisation des modes de transport.....	63
3.4.2 Typologie des chaînes de déplacements.....	70
3.4.3 Les alternatives modales et les paramètres du coût généralisé .....	82
<b>CHAPITRE 4 ANALYSE DES DONNÉES ET MODÉLISATION : ÉTUDE DE CAS .....</b>	<b>92</b>
4.1 Préparation des données .....	93
4.1.1 Extraction des données .....	93
4.1.2 Développement de l'ensemble de choix.....	96
4.2 Analyse des données .....	99
4.2.1 Variables étudiées .....	99
4.3 Modélisation .....	103
4.3.1 Échantillon des données .....	103
4.3.2 Définition des modèles .....	103
4.3.3 Cadre de la modélisation : la structure spatio-temporelle reste la même .....	104
4.3.4 Estimation des modèles .....	104

4.3.5 Comparaison et validation .....	118
4.3.6 Analyse des erreurs de simulation.....	124
4.3.7 Comparaison des résultats par rapport aux modèles étudiés dans la revue de littérature .....	128
<b>CHAPITRE 5 CONCLUSION .....</b>	<b>130</b>
5.1 Contributions .....	130
5.2 Limitations.....	132
5.3 Perspectives .....	134
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>137</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>140</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Description des champs de données de l'EOD 2008 pertinents pour le projet .....	29
Tableau 3.2 Description des champs de la base de données de chaîne de l'EOD 2008 .....	30
Tableau 3.3 Répartition modale des chaînes de déplacements .....	31
Tableau 3.4 Les quatre types de chaînes de déplacements les plus fréquents (Enquête OD 08)..	72
Tableau 3.5 Paramètres du déplacement des alternatives modales .....	83
Tableau 4.1 Alternatives modales disponibles.....	96
Tableau 4.2 Alternatives de séquences modales disponibles.....	97
Tableau 4.3 Description des variables étudiées pour le modèle basé sur les déplacements.....	100
Tableau 4.4 Description des variables étudiées pour le modèle basé sur les chaînes .....	101
Tableau 4.5 Fonctions d'utilité des alternatives du modèle basé sur les déplacements.....	105
Tableau 4.6 Fonctions d'utilité des alternatives du modèle basé sur les déplacements (suite)...	106
Tableau 4.7 Résultats du modèle basé sur les déplacements .....	106
Tableau 4.8 Résultats du modèle basé sur les déplacements (suite) .....	107
Tableau 4.9 Résultats du modèle basé sur les déplacements (suite) .....	108
Tableau 4.10 Résultats du modèle basé sur les déplacements (suite) .....	109
Tableau 4.11 Fonctions d'utilité des alternatives du modèle basé sur les chaînes .....	111
Tableau 4.12 Résultats du modèle basé sur les chaînes .....	112
Tableau 4.13 Résultats du modèle basé sur les chaînes (suite).....	113
Tableau 4.14 Résultats du modèle basé sur les chaînes (suite).....	114
Tableau 4.15 Table de corrélation des coefficients du modèle basé sur les déplacements .....	117
Tableau 4.16 Table de corrélation des coefficients du modèle basé sur les chaînes.....	118
Tableau 4.18 Comparaison de la part modale du modèle basé sur les déplacements .....	119
Tableau 4.19 Comparaison de la part modale du modèle basé sur les chaînes .....	120

Tableau 4.19 Matrice de confusion du modèle basé sur les déplacements .....	121
Tableau 4.20 Matrice de confusion du modèle basé sur les chaînes .....	121
Tableau 4.21 Comparaison des alternatives de séquences modales du modèle basé sur les chaînes .....	123
Tableau 4.22 Matrice de confusion des alternatives de séquences modales du modèle basé sur les chaînes .....	124
Tableau 4.24 Comparaison du modèle proposé à ceux de la revue de littérature par rapport au pourcentage de bonnes prédictions .....	129

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Schéma méthodologique global du projet de recherche .....	4
Figure 3.1 Position de l'analyse des variables déterminantes du choix modal au sein du schéma méthodologique global.....	31
Figure 3.2 Position des variables de la personne au sein du schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal.....	32
Figure 3.3 Répartition modale des chaînes selon l'âge et le sexe des individus .....	33
Figure 3.4 Répartition modale des chaînes selon le statut de la personne.....	34
Figure 3.5 Répartition modale des chaînes selon l'accès individuel à la voiture et la distance totale .....	35
Figure 3.6 Position des variables du ménage au sein du schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal.....	35
Figure 3.7 Répartition modale des chaînes en fonction du nombre de personnes par ménage ....	36
Figure 3.8 Répartition modale des chaînes selon le nombre de voitures par ménage.....	37
Figure 3.9 Répartition modale des chaînes des personnes de 16 ans et plus selon la présence d'enfant au sein du ménage .....	38
Figure 3.10 Répartition modale des chaînes selon la distance entre domicile et centre-ville .....	39
Figure 3.11 Répartition modale des chaînes en fonction de la localisation du domicile .....	40
Figure 3.12 Position des variables du milieu bâti au sein schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal.....	41
Figure 3.13 Schéma méthodologique de l'outil de calcul des variables égocentrées .....	44
Figure 3.14 Répartition modale des chaînes selon le nombre de ménages dans un rayon de 500 mètres .....	45
Figure 3.15 Répartition spatiale des domiciles selon le nombre de ménages de leur voisinage (rayon 500m) .....	46

Figure 3.16 Répartition modale des chaînes selon le nombre de personnes par ménage dans un rayon de 500 mètres .....	47
Figure 3.17 Répartition spatiale des domiciles selon le nombre de personnes par ménage de leur voisinage (rayon 500m) .....	47
Figure 3.18 Répartition modale des chaînes selon le nombre de voitures par ménage dans un rayon de 500 mètres .....	48
Figure 3.19 Répartition spatiale des domiciles selon le nombre de voitures par ménage de leur voisinage (rayon 500m) .....	49
Figure 3.20 Répartition modale des chaînes selon le nombre de passages-arrêts en une journée dans un rayon de 500 mètres .....	50
Figure 3.21 Position des variables de la chaîne au sein du schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal.....	50
Figure 3.22 Répartition modale des chaînes en fonction du motif principal.....	51
Figure 3.23 Répartition modale des chaînes selon le nombre d'activités .....	52
Figure 3.24 Répartition modale des chaînes en fonction du nombre de chaînes .....	53
Figure 3.25 Répartition des motifs des chaînes en fonction de leur séquence au sein du système d'activité .....	54
Figure 3.26 Répartition modale des chaînes selon leur distance totale à vol d'oiseau .....	55
Figure 3.27 Répartition modale des chaînes selon leur durée totale .....	56
Figure 3.28 Répartition modale des chaînes selon le type, tous motifs confondus .....	57
Figure 3.29 Répartition modale des chaînes selon le type, motif « travail » .....	58
Figure 3.30 Répartition modale des chaînes selon le type, motif étude .....	60
Figure 3.31 Répartition modale des chaînes selon le type, motif magasinage .....	61
Figure 3.32 Position de la typologie formalisée des chaînes et des modes de transport au sein du schéma méthodologique global .....	62

Figure 3.33 Position de la catégorisation des modes de transport par rapport à la création de la typologie formalisée des chaînes .....	63
Figure 3.34 Catégories des modes de transport .....	65
Figure 3.35 Catégories des séquences bimodales .....	69
Figure 3.36 Position de l'élaboration de la typologie formalisée des chaînes de déplacements par rapport aux catégories de mode .....	71
Figure 3.37 Transformation de la séquence bimodale <i>Kiss and Ride</i> .....	73
Figure 3.38 Forme de la chaîne simple pour les modes avec ancrage .....	73
Figure 3.39 Forme de la chaîne simple pour les modes sans ancrage .....	74
Figure 3.40 Forme de la chaîne simple pour les séquences bimodales avec ancrage .....	74
Figure 3.41 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les modes avec ancrage .....	75
Figure 3.42 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les modes sans ancrage .....	75
Figure 3.43 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les séquences bimodales avec ancrage .....	76
Figure 3.44 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les séquences bimodales avec ancrage dont l'activité secondaire est avant le retour au PI .....	77
Figure 3.45 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes avec ancrage .....	77
Figure 3.46 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes sans ancrage .....	78
Figure 3.47 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes avec ancrage et sans ancrage pour la sous-boucle .....	78
Figure 3.48 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes sans ancrage et avec ancrage pour la sous-boucle .....	79
Figure 3.49 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales et les modes sans ancrage .....	79

Figure 3.50 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales et les modes avec ancrage .....	80
Figure 3.51 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 3 activités pour les modes avec ancrage .....	80
Figure 3.52 Forme de la chaîne mono-boucle à 3 activités pour les modes sans ancrage .....	81
Figure 3.53 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales avec ancrage .....	81
Figure 3.54 Forme de chaîne complexe mono-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales avec ancrage et les modes sans ancrage .....	82
Figure 4.1 Réseau des trains de banlieue de la GRM (Source: AMT) .....	92
Figure 4.2 Extraction des paires OD des déplacements effectués en train .....	93
Figure 4.3 Extraction des paires OD des déplacements, tous modes confondus .....	94
Figure 4.4 Extraction des chaînes correspondant aux déplacements extraits précédemment .....	95
Figure 4.5 Répartition modale des déplacements selon le motif de la chaîne Corridor Vaudreuil-Hudson 08 .....	125
Figure 4.6 Répartition modale des déplacements selon l'âge et le sexe de l'individu Corridor Vaudreuil-Hudson 08 .....	126
Figure 4.7 Répartition modale des déplacements selon l'âge et le sexe des individus dont le statut est autre que travailleur ou étudiant Corridor Vaudreuil-Hudson 08 .....	127
Figure 4.8 Répartition modale des déplacements selon leur distance Corridor Vaudreuil-Hudson 08 .....	128
Figure A.1 Répartition des motifs des chaînes selon la durée de la chaîne .....	140
Figure A.2 Répartition modale des chaînes selon le nombre de personnes dans un rayon de 500m .....	140
Figure A.3 Répartition modale des chaînes selon le nombre de voitures dans un rayon de 500m .....	141

Figure B.1 Distribution de la variable du temps de rabattement et éclatement du Park and Ride .....	142
Figure B.2 Distribution de la variable du temps de rabattement et diffusion du Kiss and Ride .....	142
Figure B.3 Distribution de la variable du temps de rabattement et diffusion du transport en commun.....	143
Figure B.4 Distribution de la variable du temps de rabattement et diffusion du train .....	143
Figure B.5 Distribution de la variable temps de déplacement à bord du véhicule du transport en commun.....	144
Figure B.6 Distribution du temps d'attente du transport en commun.....	144
Figure B.7 Distribution de la variable temps total de déplacement de l'automobile conducteur	145
Figure B.8 Distribution de la variable temps total de déplacement de l'automobile passager ...	145
Figure B.9 Distribution de la variable de la distance totale du déplacement de la marche .....	146
Figure B.10 Distribution de la variable de la distance totale de déplacement du vélo .....	146
Figure B.11 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative TC-TC .....	147
Figure B.12 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative TR-TR .....	147
Figure B.13 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative KR-TR .....	148
Figure B.14 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative PR-PR et KR-KR .....	148
Figure B.15 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative AC-AC	149
Figure B.16 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative AP-AP	149
Figure B.17 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative TC-TR	150
Figure B.18 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative TR-TC	150
Figure B.19 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative TR-AP	151

Figure B.20 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative AP-MA151	
Figure B.21 Distribution de la variable temps de déplacement à bord du véhicule des alternatives TR-TR, PR-PR, KR-KR et KR-TR .....	152
Figure B.22 Distribution de la variable du temps de déplacement à bord du véhicule de l'alternative TC-TC .....	152
Figure B.23 Distribution de la variable de la distance totale de déplacement de l'alternative MA-MA .....	153
Figure B.24 Distribution de la variable de la distance totale de déplacement de l'alternative VE-VE .....	153

## **LISTE DES ANNEXES**

ANNEXE A CARACTÉRISATION DES CHAÎNES ..... 140

ANNEXE B DISTRIBUTION DES VARIABLES UTILISÉES POUR LES MODÈLES  
BASÉS SUR LES DÉPLACEMENTS ET LES CHAÎNES ..... 142

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Dans un contexte où l'on souhaite un développement durable (intégrant environnement, société et économie), il est primordial de se doter des outils nécessaires pour atteindre nos objectifs en termes de réduction des gaz à effet de serre et d'utilisation de la voiture. Par exemple, le Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement du grand Montréal (PMAD) a entre autres fixé l'objectif d'augmenter la part modale des transports en commun, actuellement à 25%, à 30% d'ici 2021 et à 35% d'ici 2031. On estime que ce transfert modal important permettrait une réduction de près de 180 000 déplacements en voiture quotidiennement (Communauté Métropolitaine de Montréal, 2011). Pour atteindre ces objectifs, la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM) propose différents projets et politiques visant principalement le développement du réseau de transport en commun. Néanmoins, lorsque des sommes importantes sont investies, soit 12,6 milliards de \$ à l'horizon 2031 au développement du réseau, il importe de mesurer l'impact des politiques et des projets d'aménagement adoptés afin de s'assurer d'atteindre les objectifs visés (Montréal, 2013). C'est donc pour cette raison qu'il importe de développer des outils de planification qui permettront de comparer différents scénarios en prévoyant avec précision les impacts liés aux mesures adoptées pour atteindre les objectifs fixés, tels que les modèles de transfert et choix modal (Efthymiou, Farooq, Bierlaire, & Antoniou, 2014).

### 1.1 Mise en contexte

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

Parmi les différents éléments qui permettent de caractériser les habitudes de déplacements des individus, le mode de transport est l'un des plus importants pour la planification. Effectivement, le choix modal affecte l'efficacité avec laquelle se font les déplacements dans la région métropolitaine (Ortúzar & Willumsen, 2011b). Alors qu'en raison des contraintes de temps et de distance les déplacements des individus tendent à se complexifier en combinant plusieurs

activités au sein d'une même série de déplacements, plusieurs études démontrent l'importance de la relation entre le choix du mode et ces chaînes de déplacements (Yun, Liu, & Yang, 2011). Selon McConsult (1993), cité dans Vleugels, (2005) la création d'une chaîne de déplacements permet une économie du temps de déplacement de 15 à 20 % aux usagers. D'ailleurs, une recherche ayant testé différentes structures de modèles démontre que ce sont bien les chaînes de déplacements qui tendent à influencer le mode de transport et non le contraire (Ye, Pendyala, & Gottardi, 2007).

Alors que la mobilité se complexifie, que ce soit à cause de l'étalement urbain, de l'éclatement des activités sur le territoire ou de la diversification des alternatives de transport, il importe de mieux comprendre les facteurs qui influencent les habitudes de mobilité et leur impact sur le choix modal. Néanmoins, les modèles typiques de transfert et choix modaux traitent les déplacements de façon indépendante, sans considération de la structure complète de la chaîne de déplacements. Également, les modes alternatifs, tels que l'autopartage et le vélo libre-service, et les modes actifs sont souvent négligés.

## 1.2 Objectifs de la recherche

L'objectif principal de ce projet de recherche est de mieux comprendre l'interdépendance entre le choix modal et la structure spatio-temporelle des chaînes de déplacements. C'est-à-dire qu'on souhaite démontrer et mesurer les effets positifs d'une intégration de la chaîne de déplacements au sein des outils d'analyse du choix modal. Différents types de modèle sont disponibles afin d'étudier cette question avec les données recueillies à partir d'une enquête sur les habitudes de transport des individus. Effectivement, il y a d'abord la modélisation du choix modal, qui est celui auquel sont confrontés les individus sur le mode à utiliser dans le cadre d'un déplacement ou d'une chaîne de déplacement. Il y a également la modélisation du transfert modal, qui permet d'estimer la probabilité qu'un individu passe d'un mode de transport à un autre suite à une modification de l'offre dans l'un de ces modes. L'élaboration d'une méthode s'impose afin d'intégrer le concept de chaîne de déplacements au sein de ces modèles. Deux hypothèses sont envisageables afin de modéliser le choix ou le transfert modal au sein de la chaîne. D'abord, la structure de la chaîne peut demeurer constante. C'est-à-dire que peu importe le mode attribué à l'individu, la structure spatio-temporelle ne change pas. Ensuite, la structure spatio-temporelle de la chaîne peut changer. C'est-à-dire que l'heure de départ, la durée de l'activité ou les

destinations des activités composant une chaîne pourraient changer selon le mode attribué par le modèle. Ce travail de recherche s'appuie seulement sur la première hypothèse voulant que la structure spatio-temporelle soit constante. Également, l'interdépendance entre le mode et la chaîne de déplacements ne sera démontrée qu'à partir d'un modèle de choix modal. Différents objectifs s'inscrivent au sein de l'objectif principal du projet de recherche :

1. Identifier et mesurer les variables ayant une incidence sur le choix du mode de transport au sein de la chaîne. Dans cette perspective, le concept de variable égocentré proposée par Martel-Poliquin (2012) sera approfondi et une méthodologie visant à en permettre l'éventuelle automatisation sera décrite. Les variables égocentrées permettent d'attribuer, de façon individuelle, des indicateurs caractérisant l'utilisation du sol et l'offre de transport dans le voisinage immédiat de chaque ménage et personne.
2. Établir une typologie des modes de transport. Dans cette optique, les différents modes seront classés en trois catégories selon la nécessité pour l'individu qui les utilise de revenir à un point d'ancre afin de les récupérer. Ainsi, un mode donné peut être considéré comme étant avec ancre, sans ancre ou avec ancre, mais transportable.
3. Établir une typologie des chaînes de déplacement afin de permettre l'énumération des séquences modales possibles pour effectuer une chaîne. Cet exercice est très important dans le contexte des chaînes, car la catégorie du mode utilisé pour le premier déplacement d'une boucle influence directement les modes disponibles pour les déplacements suivants.
4. Étudier les modes alternatifs émergents. Certains de ces modes ont le désavantage de ne pas faire l'objet de nombreuses études, spécifiquement dans un contexte de formulation d'un modèle de choix, ce qui complique leur intégration au sein de tels modèles. Ainsi, un cadre d'étude de ces modes sera proposé afin d'établir les différents paramètres qui composent leur coût généralisé. Par la même occasion, l'étude de variables encore difficilement mesurables pour les modes composant le cocktail de transport montréalais sera proposée.

Les différents objectifs sont présentés à la Figure 1.1. Chaque couleur représente un objectif à l'exception du rouge représentant ce qui n'a pas été abordé dans le cadre de cette recherche :

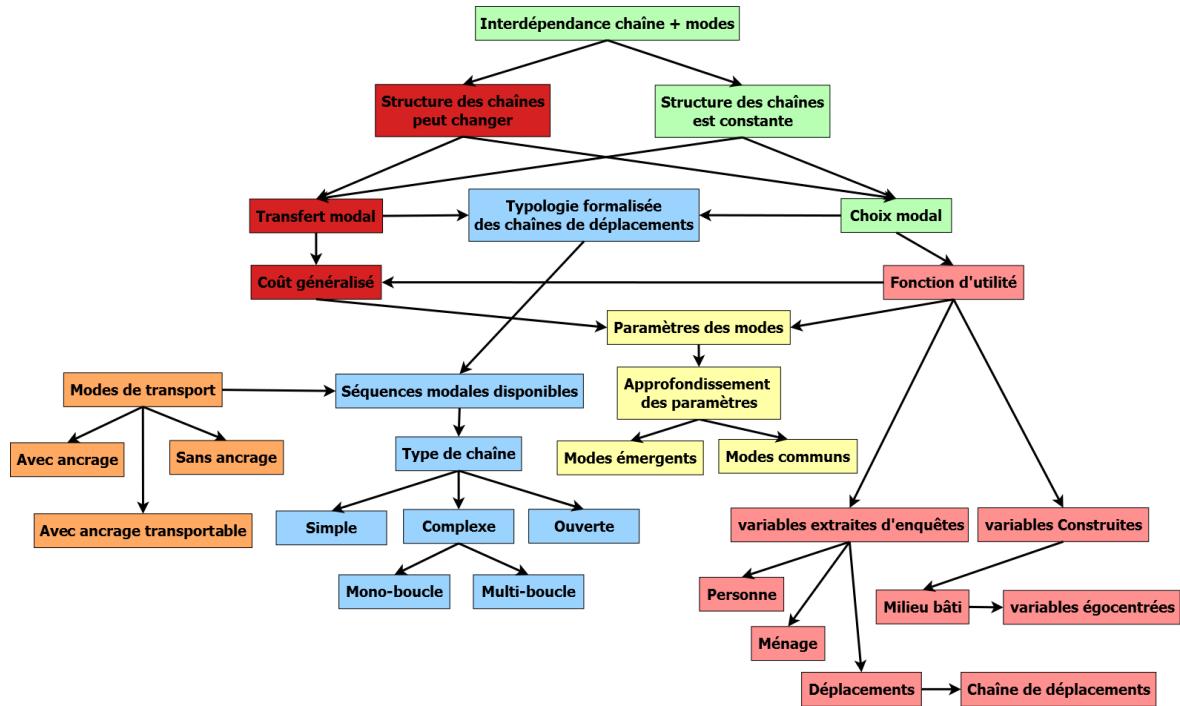


Figure 1.1 Schéma méthodologique global du projet de recherche

### 1.3 Structure du document

À la suite de cette section introductory, ce document se divisera en quatre parties. D'abord, la revue de littérature présentera de manière détaillée le concept de chaîne de déplacements. Également, on y expliquera ce en quoi consiste le choix modal et comment le modéliser à partir d'un modèle de choix discret. Cette section permettra aussi de faire un survol des différentes variables ayant un effet significatif sur le choix du mode, ainsi que des modèles de choix modal existant ayant intégré le concept de chaîne de déplacements. La seconde section du document présentera la méthodologie nécessaire pour intégrer la chaîne à un modèle de choix ou transfert modal. On y présentera d'abord une caractérisation des chaînes de déplacements de l'Enquête Origine-Destination (EOD) de la Grande Région de Montréal (GRM) à partir de différentes variables ayant une incidence sur le choix modal. Le concept de variables égocentriées y sera approfondi. Ensuite, une typologie des modes de transport sera présentée afin de catégoriser les différents modes disponibles pour un individu de la GRM selon leur nécessité de les récupérer à un point d'ancrage. À partir de cette typologie et de celle des chaînes de déplacements développées par Valiquette (2010), les différentes séquences modales possibles seront établies. Également, cette section présentera en détail les différentes alternatives modales, incluant les

alternatives émergentes, et les paramètres qui composent leur coût généralisé. La section suivante présentera une étude de cas sur le corridor de train Vaudreuil-Hudson où un modèle de choix modal intégrant les chaînes simples, c'est-à-dire composées de deux déplacements, sera comparé à un modèle simplement basé sur les déplacements individuels. La dernière section proposera un retour sur les contributions méthodologiques de ce projet de recherche ainsi que les limitations et différentes avenues de recherche futures qui s'imposent en raison d'expérimentations non complétées.

## CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature est l'une des étapes importantes du mémoire, car elle permet de recueillir les enseignements tirés des recherches antérieures et ainsi d'orienter celles qui devront être faites dans le cadre de ce projet de recherche.

### 2.1 La chaîne de déplacements : définitions et concepts

Cette section présente les différentes définitions de la chaîne de déplacements ayant mené à celle utilisée dans les travaux de Valiquette (2010), constituant une des bases du projet de recherche présenté ici. On y décrit également les différents concepts qui sous-tendent ces définitions.

#### 2.1.1 Évolution des définitions

Définir la chaîne de déplacements selon des concepts cohérents et pour lesquels l'ensemble des chercheurs s'entend est loin d'être trivial. Effectivement, depuis plusieurs années, la définition accordée aux chaînes de déplacements dans la littérature a beaucoup évolué selon les différents auteurs. Tout d'abord, Holzapfel (1986) propose une première définition selon laquelle le domicile est un point d'ancrage. Selon cette définition, une chaîne consiste en une séquence de changement de lieux. Néanmoins, pour cet auteur, une chaîne nécessite un minimum de trois segments pour être considérée comme telle. Ainsi, une structure de chaîne typique (domicile-travail-domicile), qui est d'ailleurs la chaîne la plus fréquente chez les usagers de 25 à 44 ans selon l'EOD 2003 de la GRM avec 41,5 % des chaînes (Valiquette, 2010), ne serait pas considérée comme étant une chaîne de déplacement.

Une autre définition, proposée par Thill et Thomas, (1987) est beaucoup plus abstraite. Elle s'appuie sur le fait qu'une chaîne est une suite de déplacements entre différents lieux sur une période de temps donnée. Selon leur définition, une chaîne de déplacement est fonction de la durée des activités impliquées plutôt que du nombre d'activités. Une activité peut donc faire partie d'une chaîne de déplacements si sa durée excède une période pré-déterminée.

Goulias et Kitamura (1991) nous offrent une définition assez unique. Selon ces auteurs la chaîne de déplacements est définie en fonction du nombre de segments par motif et prend en considération la fréquence, le synchronisme et la destination de ces motifs. Ainsi deux catégories de motifs sont présentées, soit les motifs obligatoires (travail, étude) et les motifs discrétionnaires (loisir, magasinage, etc.). Ils estiment ainsi que le nombre de déplacements pour une activité

discrétionnaire est fonction du nombre de déplacements pour une activité obligatoire. Selon la définition des auteurs, les points d'ancrage correspondent aux lieux où sont effectuées les activités obligatoires, soit le domicile, l'école et le travail. La chaîne est ainsi définie comme étant la séquence des segments entre ces points d'ancrage.

McGuckin et Murakami (1999) proposent une définition selon laquelle les points d'ancrage d'une chaîne de déplacements sont des lieux prédéterminés, soit le domicile et le lieu de travail. Les auteurs définissent d'abord un tour à partir des deux points d'ancrage, ce qui offre quatre possibilités : domicile à travail, travail à domicile, travail à travail (déplacements effectués durant la journée de travail) et domicile à domicile (pour les déplacements dont le travail n'est pas l'activité principale). La chaîne se veut alors une séquence de déplacements au sein d'un tour. Ainsi, une simple séquence de déplacements telle que domicile-travail-domicile serait composé de deux chaînes de déplacements différentes. Cette définition s'assouplit néanmoins dans un article publié quelques années plus tard, voulant que le point d'ancrage constitue une destination primaire ou du moins substantielle (N. McGuckin & Nakamoto, 2004).

Selon une étude de Vleugels (2005), effectuée dans le cadre du Plan d'appui scientifique à une politique de développement (PADD II) en Belgique, les facteurs qui déterminent le choix du mode de transport dans les chaînes de déplacements constituent une information de premier ordre pour le gouvernement et les sociétés de transport afin d'adapter l'offre de transport public à ses utilisateurs potentiels. Dans cette étude, la définition donnée à la chaîne de déplacements est la suivante : « [...] une chaîne de déplacements a été définie comme une boucle partant du domicile et y revenant finalement, et reprenant tous les déplacements avec leurs différentes destinations compris dans ce cheminement (par exemple domicile-école-travail-shopping-babysitter-domicile). » (Vleugels, 2005). Notons que cette méthode considère également les boucles dont le point de départ et d'arrivée n'est pas le domicile, par exemple faire des courses sur l'heure du midi à partir du lieu de travail. On y ajoute qu'une chaîne est constituée des déplacements individuels différenciés par leurs destinations et éventuellement par des motifs différents. Au sein d'un même déplacement, les différents tronçons constituent les portions d'un déplacement utilisant un moyen de transport particulier.

Primerano et *al.* (2008) reprennent plusieurs des concepts évoqués par les précédents auteurs afin de déterminer leur définition de la chaîne de déplacements, mais on constate qu'à partir des

années 2000 les définitions se ressemblent davantage. Selon ces auteurs, elle est définie comme étant l'enchaînement des déplacements des activités primaires et secondaires effectués entre le départ et le retour au domicile. Les auteurs se basent sur trois différentes raisons pour appuyer la définition choisie. Premièrement, selon le Metropolitain Adelaide Household Survey 1999, la majorité des déplacements initiaux partent du domicile, et la majorité des déplacements finaux se terminent au domicile. Deuxièmement, une chaîne débutant au domicile implique que plusieurs décisions devront être prises préalablement et cette décision influencera l'ensemble de la chaîne jusqu'au retour au domicile. Les alternatives modales disponibles changeront inévitablement suite au premier déplacement, et diminueront fort probablement au courant de la chaîne. Troisièmement, cette définition de la chaîne de déplacement met davantage l'accent sur les activités que sur les déplacements joignant ces différentes activités. Cela concorde parfaitement avec la définition des modèles d'activité de prévision de la demande, qui stipule que le déplacement est en fait une demande dérivée de l'activité.

## **2.1.2 Les concepts sous-jacents de la chaîne**

À partir des différentes définitions recueillies à travers la littérature, plusieurs concepts se recoupent. Ils sont d'ailleurs des concepts clés utilisés par Valiquette (2010), entre autres, afin d'établir une typologie des chaînes de déplacements. Ces différents concepts sont l'activité primaire et secondaire, le point d'ancrage, la boucle et le segment de déplacement.

### **2.1.2.1 Activité primaire et secondaire**

C'est à partir de l'activité primaire qu'est déterminé le motif principal de la chaîne de déplacements. En effet, celle-ci explique la réalisation de la chaîne, c'est la raison principale pour laquelle un individu quitte son domicile. Généralement, les activités primaires sont le travail et les études. Néanmoins, lorsqu'aucun de ces deux motifs ne constitue le motif de la chaîne, l'activité dont la durée est la plus longue sera déterminée comme étant l'activité primaire. Les activités secondaires sont quant à elles, toutes autres activités qui se greffent à l'activité primaire au cours de la chaîne (Valiquette, 2010).

### **2.1.2.2 Le point d'ancrage**

Toujours selon Valiquette (2010), le point d'ancrage est de manière générale le lieu de l'activité primaire. Les points d'ancrage les plus fréquents sont les lieux de domicile, de travail et d'étude.

Étant donné que le lieu de départ d'une chaîne est le domicile et qu'une personne devra y revenir puisqu'elle y réside, cela explique pourquoi il est considéré comme un point d'ancrage.

### 2.1.2.3 La boucle

La boucle constitue un des concepts les plus importants de la chaîne. Elle est constituée de l'ensemble des déplacements s'enchaînant entre le départ et le retour à un même point d'ancrage. Le fait que la boucle se base sur un point d'ancrage quelconque plutôt que sur le domicile la différencie de la chaîne même si ce sont deux concepts très semblables. Ainsi, une chaîne de déplacements peut être constituée de plus d'une boucle (Valiquette, 2010).

### 2.1.2.4 Segment (tronçon) de déplacement

Bien que le segment de déplacement ne constitue pas un concept clé dans l'exercice de catégorisation des chaînes, il est néanmoins important dans l'optique d'une étude des déplacements multimodaux. Ainsi, selon Vleugels, (2005) un segment de déplacement consiste en la portion pour laquelle un même mode est utilisé. Par exemple, un déplacement en *Park and Ride* entre le domicile et le travail implique un premier segment où l'individu utilise l'automobile conducteur pour se rendre à la station de transport en commun. Ensuite, un deuxième segment est effectué en transport en commun jusqu'au lieu de travail de la personne. En bref, un seul déplacement est complété, mais deux modes différents ont été utilisés en séquence, donc deux segments sont effectués.

## 2.1.3 Définitions des différents types de chaînes

À partir des concepts définis précédemment Valiquette (2010) propose une typologie de chaînes qui s'inspire à son tour d'une typologie proposée par Primerano et *al.* (2008). La différence majeure entre les deux typologies est que celle de Valiquette ne tient pas compte de l'ordre dans lequel interviennent les activités secondaires. Ainsi, différentes variables influencent le type de la chaîne qui est analysé. Par exemple, le nombre de déplacements, le nombre de boucles et l'activité primaire de la chaîne sont toutes des variables qui permettent de catégoriser les chaînes selon différents types.

### 2.1.3.1 Chaîne simple, complexe et ouverte

La complexité de la chaîne est déterminée par le nombre de déplacements compris dans la chaîne. Cette variable permet ainsi de diviser les chaînes en trois catégories différentes.

#### 2.1.3.1.1 *Chaîne simple*

Ces chaînes sont constituées de seulement deux déplacements : un pour se rendre à une activité quelconque et ensuite un autre pour le retour à domicile.

#### 2.1.3.1.2 *Chaîne complexe*

Ces chaînes comprennent toutes les chaînes qui sont constituées de plus de deux déplacements, donc plus d'une activité. Dans ce cas, nous retrouvons une activité primaire et une ou plusieurs activités secondaires pour compléter la chaîne.

Une seconde sous-catégorisation de la chaîne complexe est le rang de la ou les activités secondaires. Effectivement, les différents auteurs (Islam, 2010; Primerano et al., 2008) ayant proposé une typologie des chaînes de déplacements accordent beaucoup d'importance sur le fait qu'une activité secondaire soit effectuée avant ou après l'activité principale de la chaîne. L'activité secondaire peut également s'insérer au travers de l'activité principale. On parle alors d'une boucle supplémentaire, ce qui introduit le concept de chaîne multi-boucle dont il sera question dans la sous-catégorisation suivante des chaînes.

#### 2.1.3.1.3 *Chaîne ouverte*

Ces chaînes ne sont en fait pas tout à fait des chaînes, car elle ne comporte pas de retour au domicile. Ainsi elles ne se bouclent pas complètement. Sont aussi considérées des chaînes ouvertes celles qui ne sont constituées que d'un retour à domicile. Ces chaînes sont rarement considérées dans les études existantes sur les chaînes de déplacements. Effectivement, les études portent généralement sur des chaînes *home-based*, c'est-à-dire qui débutent et se terminent au domicile (Primerano et al., 2008).

### 2.1.3.2 **Chaîne mono-boucle et chaîne multi-boucle**

Le point d'ancrage est constitué du lieu de l'activité primaire et du domicile. La boucle correspond à l'ensemble des déplacements entre le départ et le retour à un même point d'ancrage. C'est à partir de cette variable que sont divisées les chaînes complexes en deux catégories : mono-boucle et multi-boucle.

#### 2.1.3.2.1 *Mono-boucle*

Les chaînes mono-boucle sont les chaînes complexes dont les activités sont effectuées sans que l’individu ne revienne une deuxième fois à un même point d’ancrage. Ainsi, une seule boucle est effectuée.

#### 2.1.3.2.2 *Multi-boucle*

Comme le nom le dit, les chaînes multi-boucle sont constituées de plus d’une boucle. Ainsi, le départ et le retour d’un individu à un autre point d’ancrage que le domicile, qui est généralement le lieu de l’activité primaire, créent une nouvelle boucle. Un exemple commun est un individu qui part du domicile pour se rendre au travail et quitte le lieu de travail sur l’heure du midi pour aller manger à l’extérieur pour ensuite revenir au travail en début d’après-midi et finalement retourner au domicile à la fin de la journée.

### 2.1.3.3 **Chaîne contrainte et non-contrainte**

Selon le motif primaire de la chaîne, il est possible de regrouper les chaînes en deux autres sous-catégories.

#### 2.1.3.3.1 *Chaîne contrainte*

Une chaîne est considérée contrainte lorsque son motif primaire est « travail » ou « études ». Effectivement, ces activités sont contraignantes étant donné qu’elles sont obligatoires pour une grande partie de la population. Également, l’individu n’a pas le choix du lieu où il les accomplira. Une chaîne est également contrainte lorsque l’activité « reconduire ou chercher quelqu’un » est le motif primaire, car le déplacement de l’individu est généralement fonction des besoins de son passager.

#### 2.1.3.3.2 *Chaîne non-contrainte*

Une chaîne est non-contrainte quand le motif primaire implique un déplacement considéré non obligatoire. Ainsi lorsque le motif primaire d’une chaîne est « loisir », « magasinage » ou « autres », celle-ci est non-contrainte.

## 2.2 Qu'est-ce que le choix modal?

Étant donné que le choix modal constitue un des concepts clés de ce projet de recherche, il importe de le définir clairement. Cette section propose une définition détaillée du choix modal et des éléments nécessaires à la compréhension de sa modélisation.

### 2.2.1 Définition

Le choix modal est celui auquel sont confrontés les individus sur le mode à utiliser dans le cadre d'un déplacement ou d'une chaîne de déplacements. Il est généralement modélisé à partir d'un modèle de choix discret à utilité aléatoire de type logit afin de déterminer la probabilité d'un individu à choisir un mode particulier plutôt qu'un autre. Ce type de modèle implique une fonction d'utilité pour chaque mode et c'est en quelque sorte cette fonction que l'individu cherche à maximiser. Cette fonction comporte différents types de variables : les caractéristiques socioéconomiques, celles du déplacement et celles des alternatives disponibles. Les modèles de choix modal peuvent être agrégés s'ils sont basés sur des données zonales, mais ils peuvent également être désagrégés s'ils se basent sur les caractéristiques du décideur (Ortúzar & Willumsen, 2011b).

Pour un déplacement vers une destination donnée, un individu se verra confronté à divers choix : celui du parcours et du mode. Son choix final sera une combinaison de ces deux modes et sera sans doute celui avec le coût généralisé le plus faible. Si chaque personne pensait de la même façon, on se retrouverait avec une route « tout ou rien » et un seul mode, mais la planification est loin d'être aussi simple pour plusieurs raisons. D'abord, tous n'ont pas accès au même mode, par exemple, certains n'ont pas de voiture. Ensuite, les phénomènes de congestion, autant sur la route que dans les transports en commun, nécessitent l'existence d'alternatives différentes. Également, le coût généralisé d'un mode ne peut représenter l'ensemble des éléments nécessaire pour faire un choix entre deux options. Finalement, le coût généralisé peut être perçu différemment selon les personnes. Effectivement, certains éléments auront différents degrés d'importance pour un individu. Certains pourraient souhaiter minimiser le coût monétaire d'une option alors que d'autres voudraient minimiser le coût temporel de celle-ci (Ortúzar & Willumsen, 2011b).

## 2.2.2 Choix modal et planification

Le choix du mode de transport est sans doute l'un des modèles classiques les plus importants pour la planification des transports aujourd'hui. La raison principale de son importance est le rôle charnière que joue le transport en commun au sein des nouvelles politiques de transport. Dans les grandes villes, des mesures sont prises afin d'augmenter la part modale des transports en commun et diminuer celle de la voiture. Les raisons sont simples, le transport en commun est un moins grand consommateur d'espace, cause moins d'accidents et produit moins d'émissions de gaz à effet de serre. D'autant plus que si certains automobilistes décidaient de transférer vers le transport en commun, la circulation serait plus fluide pour les autres automobilistes, principalement durant les heures de pointe. En bref, le choix modal affecte l'efficacité générale avec laquelle les gens se déplacent en milieu urbain. Au niveau interurbain également la question se pose, alors que les modes sur rail sont généralement plus efficaces que la voiture et les autobus en terme de ressources consommées (Ortúzar & Willumsen, 2011b).

## 2.2.3 Modélisation : choix discret

Les modèles de choix discret sont généralement utilisés lorsqu'on souhaite modéliser le choix d'un individu parmi un nombre donné d'alternatives. Le modèle de choix discret le plus populaire est sans contredit le multinomial logit (MNL). Ce modèle est fréquent dans le cadre de la modélisation désagrégée de la demande des personnes ou des ménages (Ben-Akiva & Lerman, 1985; Ortúzar & Willumsen, 2011a; Train, 2009). Cette section offre un survol du modèle MNL et des outils indispensables à sa compréhension.

### 2.2.3.1.1 *L'ensemble de choix*

De manière générale, les alternatives disponibles d'un modèle de choix sont relativement peu nombreuses, car plus un ensemble de choix est grand, plus on fait face au problème d'établir comment mesurer l'attractivité d'une option par rapport à une autre. Également, une des règles de base en modélisation est que les options disponibles ne pourront correspondre qu'aux options réellement choisies au sein de la base de données. C'est-à-dire que même si une méthodologie est développée afin d'estimer la probabilité qu'une alternative émergente soit choisie, si cette option n'est pas observée au sein de la base de données, on ne pourra l'inclure à l'ensemble de choix du modèle (Ortúzar & Willumsen, 2011c).

L'ensemble de choix d'un modèle de choix discret doit respecter trois conditions importantes. Premièrement, les différentes alternatives doivent être mutuellement exclusives, c'est-à-dire que si une option est choisie, cela implique nécessairement que les autres ne le sont pas. Ainsi, le décideur ne choisit qu'une option parmi l'ensemble de choix. Deuxièmement, le choix d'ensemble doit être exhaustif, c'est-à-dire que toutes les options possibles y sont incluses et qu'un décideur en choisira nécessairement une parmi celles-ci. Troisièmement, le nombre d'alternatives ne peut être infini, c'est-à-dire qu'on peut les énumérer (Train, 2009). Les modèles présentés dans l'étude de cas au Chapitre 4 respectent ces trois conditions.

#### 2.2.3.1.2 *La fonction d'utilité*

La fonction d'utilité est l'un des outils les plus importants du modèle de choix discret. Effectivement, c'est à partir de celle-ci qu'est représentée l'attractivité des différentes alternatives et c'est théoriquement cette fonction que le décideur cherche à maximiser. Ainsi, pour un individu donné, chaque alternative possède sa propre fonction d'utilité présentée sous forme d'une équation linéaire incluant les variables qui caractérisent l'alternative et l'individu.

Le cadre théorique le plus commun pour la conception d'un modèle de choix discret est la théorie de l'utilité aléatoire. À travers la littérature, les auteurs établissent quatre règles nécessaires à la compréhension de ce concept (Ortúzar & Willumsen, 2011a; Train, 2009) :

1. Les individus d'une population  $Q$  agissent rationnellement et recherchent tous à maximiser leur utilité personnelle.
2. Un certain nombre d'alternatives  $\mathbf{A}$  sont disponibles et elles possèdent toutes un ensemble d'attributs mesurables en lien avec les individus et leurs alternatives.
3. Une alternative  $j \in \mathbf{A}$  possèdent une utilité  $U_{jq}$  associée avec l'individu  $q$ . Néanmoins, le chercheur n'observe pas directement l'utilité du décideur, mais plutôt les attributs d'une alternative  $j$  pour un individu  $q$  donné, notés  $x_{qj}$ , et ceux de ce décideur, notés  $s_q$ . Ainsi, cette utilité représentative correspond à  $V_{qj} = V(x_{qj}, s_q) \forall j$ . Étant donné que le chercheur ne possède pas toute l'information ayant mené au choix de l'individu, on doit considérer que  $U_{jq} \neq V_{qj}$ , et que  $U_{jq} = V_{qj} + \varepsilon_{qj}$ , où  $\varepsilon_{qj}$  correspond à un facteur aléatoire qui capture les paramètres ayant une incidence sur l'utilité, mais qui ne sont pas inclus dans  $V_{qj}$ .

4. Un individu choisira donc l'alternative  $j$  si :

$$U_{jq} \geq U_{iq} \forall j \neq i$$

donc :

$$V_{qj} + \varepsilon_{qj} \geq V_{qi} + \varepsilon_{qi} \forall j \neq i$$

Cela implique que :

$$V_{qj} - V_{qi} \geq \varepsilon_{qi} - \varepsilon_{qj} \forall j \neq i$$

Ainsi la probabilité qu'un individu choisisse  $j$  :

$$P_{qj} = \text{Prob}(\varepsilon_{qi} \leq \varepsilon_{qj} + (V_{qj} - V_{qi}), \forall j \neq i \in \mathbf{A})$$

Différentes formes de modèle peuvent être générées selon la distribution des résidus  $\varepsilon$ .

#### 2.2.3.1.3 *Multinomial logit*

Le modèle multinomial logit est de loin le modèle de choix discret le plus utilisé. Il se base sur le fait qu'on assume que les  $\varepsilon$  pour toutes les alternatives sont indépendantes et identiquement distribuées (iid) selon la loi de Gumbel. Ainsi, sous cette condition, la probabilité de choisir une alternative  $j$  s'exprime :

$$P_{jq} = \frac{e^{\beta V_{jq}}}{\sum_{A,i \in A} e^{\beta V_{iq}}}$$

Où  $P_{jq}$  représente une probabilité exprimée entre 0 et 1, la fonction d'utilité  $V_{jq}$  correspond à celle démontrée ci-haut et  $\beta$  est un paramètre relié à l'écart-type de la distribution de  $\varepsilon$  des alternatives. En pratique, ce dernier paramètre est généralement normalisé à 1, car il ne peut être estimé séparément de ceux caractérisant l'individu, mais il peut être manipulé afin de maximiser la fonction dans le cas où on rencontre des problèmes d'identification du modèle (Ortúzar & Willumsen, 2011a; Train, 2009).

Le modèle MNL est l'un des plus utilisés en raison de sa simplicité, mais il a aussi ses limites. D'abord, il peut représenter la variation au niveau des préférences des individus, mais seulement lorsqu'elles sont représentées par des caractéristiques observables. Ensuite, les alternatives doivent absolument être indépendantes, ce qui pose problème lorsque des alternatives se ressemblent plus que d'autres. Également, il est nécessaire que la variance entre les paramètres

d'erreur  $\varepsilon$  soit égale, ce qui peut être problématique lorsque certaines alternatives ont des attributs plus précis que d'autres (par exemple, le temps d'attente du métro versus celle du bus). Dans le cas où les conditions pour un modèle MNL ne sont pas rencontrées, d'autres formes de modèle s'offrent au chercheur telles que le nested logit, le mixed logit ou le multinomial probit (Ortúzar & Willumsen, 2011a; Train, 2009).

#### 2.2.3.1.4 *Les modèles spécifiques*

Des modèles autres que le MNL existent et ils seront ici détaillés brièvement. Effectivement, le développement de différents modèles est apparu afin de contrer l'hypothèse d'"indépendance au sein d'un modèle logit. Les modèles *General Extreme Value* (GEV) répondent à ce problème et peuvent prendre plusieurs formes permettant une corrélation entre les facteurs. Le nested logit est une forme relativement simple de GEV, qui places les alternatives en différents groupes appelés *nests* sans aucune corrélation entre les alternatives dans les différents *nests*. (Train, 2009)

Les modèles probit se basent sur l'hypothèse que les erreurs sont distribuées conjointement selon la loi normale. Ainsi, l'avantage principal du modèle probit est sa flexibilité quant au traitement de la corrélation des alternatives dans le temps. Néanmoins, ses limites proviennent de sa dépendance à la distribution normale. (Train, 2009)

Le mixed logit a l'avantage de permettre que l'erreur suive n'importe laquelle des distributions. Une des caractéristiques qui décrit le mieux le mixed logit est qu'il peut décomposer l'erreur en différentes parties, dont une qui présente la corrélation avec les facteurs et une autre qui est indépendante et identiquement distribuée parmi les valeurs extrêmes. (Train, 2009)

### 2.3 Études précédentes sur l'interdépendance du mode de transport et la chaîne de déplacements

À travers les années, plusieurs études ont porté sur l'interdépendance du choix modal et la chaîne de déplacements. À partir de celles-ci, plusieurs méthodes ont été testées et différentes variables influençant le choix du mode de transport sont déterminées. Également, certaines études ont déjà testé l'intégration de la chaîne au sein d'un modèle de décision.

### 2.3.1 Variables explicatives du choix modal de la chaîne

Plusieurs études décrivent les différentes variables qui permettent d'expliquer le choix du mode de transport effectué par un individu. Leur identification était d'ailleurs l'un des objectifs du mémoire de Martel-Poliquin (2012). Ces variables sont classifiées selon quatre catégories principales : les variables de la personne, celles du ménage, celles du milieu bâti et celles du déplacement. La section suivante fait la description de leur effet sur le choix modal.

#### 2.3.1.1 Les variables de la personne

Selon Martel-Poliquin (2012), les comportements de mobilité d'une personne varient selon les paramètres qui la définissent. Alors que certains de ces paramètres sont intrinsèques (genre, âge), d'autres sont extrinsèques (statut, possession de permis de conduire). Ces paramètres ont une influence autant sur la capacité des personnes à utiliser un mode que sur leur attractivité. Par exemple, un enfant de moins de 16 ans ne pourra conduire une voiture et les femmes sont moins attirées par le transport en commun le soir. Dans une perspective de planification les paramètres intrinsèques sont immuables, c'est-à-dire qu'il devient difficile de changer les comportements de mobilité des personnes à partir de mesures visant ces paramètres.

##### 2.3.1.1.1 *Genre*

Les études sont nombreuses à démontrer que le genre d'une personne a une incidence importante sur le choix du mode au sein de la chaîne. Plusieurs estiment ce paramètre au sein d'un modèle de choix modal logit multinomial. Les résultats démontrent que les hommes ont davantage tendance à utiliser la voiture et la moto. Par contre, ils sont moins enclins à emprunter les transports en commun pour leurs déplacements vers le travail. Ils ont également tendance à utiliser davantage le vélo que les femmes (Godefroy, 2011; Roorda, Passmore, & Miller, 2009; Xianyu, 2013; Yun et al., 2011).

##### 2.3.1.1.2 *Âge*

L'âge est aussi une variable pour laquelle on retrouve plusieurs liens à travers la littérature quant à son impact sur le choix modal. Le modèle estimé par Xianyu (2013) démontre effectivement que plus un individu est âgé, moins il est porté à utiliser les transports en commun. Effectivement, avec l'âge le corps connaît une baisse d'énergie ainsi que différentes douleurs et handicaps. Ainsi, une personne âgée n'est pas poussée à emprunter un mode aussi stressant

physiquement. Autrement, les personnes âgées de 14 à 19 ans ont tendance à utiliser davantage le transport en commun. Des facteurs tels que l'absence de titre de transport, l'inaccessibilité à une voiture et le manque de ressources financières peuvent expliquer cette observation (Roorda et al., 2009). Les individus âgés de 25 à 35 ans, quant à eux, utilisent davantage la voiture que les individus d'autres tranches d'âge. Cette observation est sans doute liée à la structure de leur ménage, car la présence d'enfants en bas âge peut avoir un effet positif sur l'utilisation de ce mode (Cirillo & Axhausen, 2002).

#### *2.3.1.1.3 Possession d'un titre de transport*

La possession d'un titre de transport pour une période donnée peut être perçue par l'individu comme un investissement à long terme. Ainsi, les personnes possédant un titre de transport ont davantage tendance à utiliser le transport en commun qu'une personne n'en possédant pas (Xianyu, 2013). Par le fait même, elles auront moins tendance à utiliser la voiture que tout autre mode (Ye et al., 2007).

#### *2.3.1.1.4 Possession d'un permis de conduire*

La possession d'un permis de conduire a un effet positif sur l'utilisation de la voiture. En fait, elle se veut une condition nécessaire pour son utilisation (Xianyu, 2013; Ye et al., 2007).

#### *2.3.1.1.5 Statut*

Chaque individu possède un statut qui permet d'expliquer son choix modal, car ce dernier est fortement corrélé avec la structure spatio-temporelle des déplacements qu'il effectuera dans une journée. Les principaux sont : étudiant, travailleur, autre. Différentes estimations de modèle de choix modal démontrent entre autres que les étudiants ont tendance à davantage utiliser la marche et moins tendance à utiliser la voiture que tout autre mode. Également, le fait d'être un travailleur à temps plein augmente les chances pour un individu de choisir le transport en commun, même si c'est la voiture qui y est préférée (Cirillo & Axhausen, 2002; Islam & Habib, 2012; Roorda et al., 2009).

### **2.3.1.2 Les variables du ménage**

Les caractéristiques du ménage ont une influence importante quant aux habitudes de mobilité des individus qui y habitent. Parmi celles-ci, on retrouve entre autres la structure du ménage, la possession automobile et le revenu.

### 2.3.1.2.1 *Structure du ménage*

La structure d'un ménage à l'autre varie beaucoup. Que ce soit le nombre d'adultes, le nombre d'enfants ou plus précisément le nombre d'enfants en bas âge, ces variables ont une incidence sur le choix modal des individus. Effectivement, avec l'augmentation du nombre d'adultes dans un ménage, l'utilisation de la voiture tend à augmenter, autant pour l'automobile conducteur que l'automobile passager. Cette tendance à utiliser davantage la voiture s'observe aussi chez les ménages ayant de jeunes enfants (moins de 6 ans) (Cirillo & Axhausen, 2002; Yun et al., 2011).

### 2.3.1.2.2 *Possession automobile*

La possession automobile, mais surtout le nombre de voitures disponibles au sein du ménage, constitue l'une des variables explicatives les plus importantes quant à son utilisation. Effectivement, plus un ménage possède de véhicules, plus les chances augmentent, pour un individu y appartenant, d'utiliser ce mode. La logique est la même pour l'utilisation du vélo (Xianyu, 2013; Ye et al., 2007).

### 2.3.1.2.3 *Revenu du ménage*

L'étude de l'effet du revenu du ménage sur le choix modal démontre que les individus des ménages appartenant aux groupes ayant un bas et moyen revenu ont moins tendance à utiliser la voiture qu'un individu d'un ménage à revenu élevé. Néanmoins, un revenu bas encourage le choix de la marche (Xianyu, 2013; Yun et al., 2011).

## 2.3.1.3 **Les variables du déplacement**

Les variables du déplacement sont sans doute celles qui auront le plus d'influence sur le choix modal d'une personne. D'ailleurs, de nombreux modèles de choix modal sont divisés en fonction du motif principal de la chaîne ou du déplacement, généralement « travail » et « autres ». Le temps de déplacement est également un des paramètres ayant le plus de poids au sein du coût généralisé d'un mode.

### 2.3.1.3.1 *Distance de parcours*

La distance d'un déplacement démontre une influence importante sur le choix du mode de transport. Néanmoins, ce paramètre dépend de différents autres facteurs tels que l'accessibilité aux lieux d'activités qui découle des caractéristiques du milieu bâti (réseaux de transports, mixité et densité des usages au sol, etc.) (Martel-Poliquin, 2012). Il est important de noter que la relation

inverse est également vraie. C'est-à-dire que le mode de transport que choisit un usager peut influencer la distance de ses déplacements.

Une étude de Xianyu (2013) démontre que le vélo semble être un mode davantage utilisé pour les distances de moins de 1,5 km et que plus la distance augmente, plus les chances d'utiliser les transports en commun ou la voiture augmentent.

#### 2.3.1.3.2 *Temps de déplacement*

Au niveau de l'offre, le critère ayant le plus d'influence sur le choix du mode de transport est le temps de déplacement. Effectivement, une supposition commune est qu'un individu choisira la durée de déplacement totale la plus courte, ainsi le choix du mode sera fait en conséquence. Les différentes composantes du temps de déplacement sont importantes, car elles sont perçues différemment par les usagers. Le temps de préparation, le temps d'attente, la durée effective du voyage, le temps de correspondance et le temps nécessaire pour se déplacer entre le véhicule et l'arrêt correspondent aux différentes composantes du temps de déplacement. L'étude de Vleugels (2005) démontre que le temps d'attente et les temps de correspondance sont perçus particulièrement négativement par les usagers. Également, les temps de marche, ou temps d'accès, de moins de 10 minutes ont peu d'influence sur le choix du transport en commun. Au-delà, la part modale de cette alternative diminue fortement. Néanmoins, l'étude révèle que cette diminution n'intervient que lorsque les temps d'accès correspondent à plus de 40 % du temps de déplacement total. Ainsi, un temps de déplacement ayant une forte proportion de temps d'accès peut être considéré comme acceptable. Pour ce qui est du temps d'attente, la perception est bien différente. Effectivement, la part maximale acceptable du temps d'attente sur le temps de déplacement total n'est que de 20 %. En fin de compte, l'étude émet des estimations selon lesquelles une minute de temps d'attente et de temps de marche correspondent à 1,5 à 1,9 fois une minute du temps de circulation en véhicule. De plus, une correspondance rajoutera 10 à 15 minutes au temps de déplacement total. Au niveau de l'offre, un gain dans le temps d'accès et dans le temps d'attente aura plus d'influence sur le choix du transport en commun qu'un gain dans le temps de circulation en véhicule. Le transport en commun constitue une alternative potentielle lorsque le temps total de déplacement ne dépasse pas celui de la voiture de plus de 1,5 fois. Il importe ainsi d'explorer le ratio entre le temps de déplacement en transport en commun sur celui en voiture. Également, pour la chaîne c'est surtout les ratios pour le déplacement vers

l'activité principale et le déplacement avec la plus mauvaise alternative en transport en commun qui seront les plus explicatifs.

#### 2.3.1.3.3 *Motif*

Le motif des activités d'une chaîne de déplacements a une incidence importante sur le choix du mode de transport. D'ailleurs, plusieurs auteurs divisent les motifs en seulement deux catégories : « travail » et « autres ». Selon Xianyu (2013), l'insertion d'une activité de motif « autres » au sein d'une chaîne réduit les chances d'utiliser le transport en commun et augmente plutôt les chances d'utiliser la voiture ou le vélo, des modes qui ne sont pas contraints à un horaire fixe.

Si l'activité principale est « magasinage », les chances d'utiliser la voiture augmentent en raison de la facilité qui caractérise ce mode pour ensuite transporter les achats. De plus, c'est un mode qui facilite l'accès vers des destinations autrement inaccessibles. Également, la voiture est le mode principalement utilisé pour le motif « reconduire ou chercher quelqu'un » (Cirillo & Axhausen, 2002; Roorda et al., 2009).

#### 2.3.1.3.4 *Le stationnement*

Selon une étude de Ye et al. (2007), la disponibilité d'un stationnement gratuit au lieu de l'activité principale, dans ce cas-ci le travail, joue un rôle important sur la tendance d'un individu à utiliser la voiture. D'ailleurs, une autre étude de Roorda et al. (2009) démontre que les gens sont près de six fois plus sensibles au prix du stationnement qu'à celui du déplacement en tant que tel, tous modes confondus.

#### 2.3.1.4 **Les variables du milieu bâti**

La littérature recueille de nombreuses études démontrant l'impact des variables du milieu bâti sur le choix modal. Alors que certaines variables sont plus générales et visent le quartier à une plus grande échelle, d'autres se veulent plus désagrégées et se penchent davantage sur les ménages des individus et leurs alentours.

Afin de calculer certaines variables du milieu bâti, Martel-Poliquin (2012) propose une méthode de construction de données égocentriques, c'est-à-dire centrées sur un individu ou son ménage. Celles-ci ont l'avantage d'être évaluées au niveau des alentours des domiciles. Effectivement, à partir de cette méthode, une zone tampon est créée pour chacun des ménages d'une enquête au sein de laquelle différentes variables de densité peuvent être estimées (population, commerces,

longueur du réseau routier, etc.). Cette méthode permet ainsi de mesurer les variables à une échelle très désagrégée et de faire une classification des ménages selon la similarité de leurs attributs.

#### *2.3.1.4.1 Milieu rural vs urbain*

Le type de milieu joue un rôle important dans le choix modal, qu'il soit urbain, suburbain ou rural, principalement parce qu'il influence la disponibilité des modes. Les chaînes de déplacements effectuées par les individus vivant en milieu rural ont plus tendance à être faites en voiture qu'avec tout autre mode alors que les gens qui habitent dans un milieu plus central utiliseront davantage le transport en commun. Il est supposé que la distance des déplacements et l'accessibilité au transport en commun soient des facteurs liés à ce paramètre. La marche et le vélo sont aussi des modes peu fréquents hors des milieux urbains (Cirillo & Axhausen, 2002; Ye et al., 2007). Les déplacements en autobus scolaire sont également plus fréquents dans les milieux suburbains et ruraux que dans les milieux urbains (Roorda et al., 2009).

#### *2.3.1.4.2 Connectivité du réseau de rues*

La connectivité du réseau, c'est-à-dire le nombre d'intersections au kilomètre carré, influence la propension à utiliser le vélo pour ses déplacements. Effectivement, plus la densité d'intersections augmente, plus un individu aura tendance à utiliser le vélo. (Roorda et al., 2009) Ce paramètre augmente aussi grandement la probabilité pour un individu de marcher dans le cadre d'un déplacement court (C. Morency, Trépanier, Tremblay, & Poliquin, 2011).

#### *2.3.1.4.3 Tortuosité*

La tortuosité est une variable qui correspond au ratio de la distance sur le réseau par rapport à celle d'un parcours à vol d'oiseau entre deux points. Cet indicateur, qui devra nécessairement être plus grand ou égal à 1, permet d'observer à quel point le réseau routier allonge la distance de parcours entre un point d'origine et la destination. Une étude de Morency et al. (2011) démontre qu'une forte tortuosité peut entraîner une diminution de l'utilisation de la voiture pour effectuer une courte distance, car certains raccourcis peuvent être disponibles uniquement pour les piétons.

#### *2.3.1.4.4 Accessibilité au transport en commun*

Les individus habitant un ménage qui se trouve à moins de 10 minutes de marche d'un arrêt d'autobus ont moins tendance à utiliser la voiture. Néanmoins, on constate qu'en augmentant

l'accessibilité des transports par rail, la tendance à utiliser la voiture augmente. Cela est sans doute dû à une augmentation de la fréquence de déplacements *Park and Ride* (Islam & Habib, 2012).

### 2.3.2 Modèles de choix modal existants

Il est évident qu'à travers la littérature, de nombreuses études portent sur l'estimation et la simulation d'un modèle de choix modal. Néanmoins, encore peu de recherches portent sur le choix modal tout en prenant compte de la structure complète de la chaîne de déplacements, même si cette tendance semble changer depuis les dernières années. Cette section se veut un résumé de certaines études dont l'objectif était de reproduire le comportement de mobilité des personnes à partir d'un modèle de choix modal basé sur les chaînes de déplacements.

#### 2.3.2.1 Chine : Modélisation du choix modal selon deux structures de chaîne

Une première étude se base sur les données d'une enquête conduite en 2010 auprès des ménages de la ville de Zhongshan en Chine (Yun et al., 2011). Six modes y sont étudiés : la marche, le vélo, le vélo libre-service, la moto, la voiture et le bus. Lorsque plus d'un mode est observé pour une même chaîne, on ne considère que le mode utilisé pour l'activité principale. Au niveau des types de chaînes, deux catégories les regroupent : simple et complexe. Le choix modal est ensuite modélisé à partir d'un modèle multinomial logit au sein duquel sont estimés différents paramètres qui caractérisent l'individu et son ménage. Les attributs du déplacement et des différents modes disponibles sont également estimés.

Deux modèles de choix modal sont ensuite simulés afin de mieux illustrer l'impact des variables de la chaîne : un les incluant et l'autre sans ces dernières. Le premier modèle démontre de meilleurs résultats quant à la reproduction du choix modal des individus. Effectivement, le pourcentage total des modes simulés correspondants aux modes observés est plus élevé pour le modèle basé sur les chaînes (65,57 % contre 64,76 %). De plus, le pourcentage de bonnes simulations augmente pour chacun des modes, ce qui amène les auteurs à conclure que les variables de la chaîne ont un effet significatif sur l'estimation du choix modal.

#### 2.3.2.2 Toronto : Modélisation du choix modal excluant les modes complexes

Le modèle développé par Miller, Roorda, & Carrasco (2005) est conçu pour s'intégrer au sein du modèle de planification des activités Travel/Activity Scheduler for Household Agents (TASHA).

Ce modèle génère l'ensemble des activités complétées à l'extérieur du domicile par les différents membres du ménage sur une période de 24 h. Ainsi, il modélise simultanément le choix du mode de transport et la complexité de la chaîne de déplacements.

L'un des concepts clés de ce modèle désagrégé est qu'il prend en compte les interactions entre les membres d'un ménage de trois différentes manières. D'abord, lorsqu'il y a un conflit quant à l'utilisation d'une voiture entre plusieurs conducteurs, celui-ci est résolu à l'échelle du ménage. Ainsi, le modèle détermine pour qui l'automobile sera disponible et quels autres membres devront utiliser un mode alternatif. Ensuite, dans le cas où plusieurs membres participent à la même activité, le modèle considérera que ceux-ci se déplaceront ensemble avec la même voiture. Un membre se verra attribuer le mode automobile conducteur alors que le ou les autres membres du ménage se verront attribuer le mode automobile passager. Finalement, la décision pour un membre du ménage de reconduire un autre membre vers une activité différente de la sienne sera déterminée à partir des alternatives modales disponibles des individus concernés dans le contexte de la chaîne complète.

Le cadre défini par Miller, Roorda, & Carrasco (2005) prend également en compte les sous-chaînes de déplacements, soit celles qui débutent et terminent à un point d'ancrage qui n'est pas le domicile. Néanmoins, on y considère seulement les points d'ancrage qui constituent le lieu de travail de l'individu. Le concept de point d'ancrage est très important dans le contexte du modèle, car c'est seulement à ces points précis que l'individu peut décider d'utiliser une voiture pour ses déplacements, et si ce mode est choisi, il devra être utilisé pour les déplacements suivants ou du moins jusqu'à l'arrivée à un autre point d'ancrage. Ce type d'engagement n'est pas nécessaire lors de l'utilisation d'un autre mode de transport tel que le transport en commun, la marche ou le taxi. Par exemple, une personne peut choisir de marcher pour se rendre au travail le matin et, le soir venu, si la température est mauvaise ou si la personne est fatiguée, elle peut prendre le taxi ou le transport en commun, car elle n'a pas de contraintes. Les auteurs définissent ces modes comme étant basés sur les déplacements, car la décision ne s'applique qu'au déplacement individuel et n'a pas d'impacts sur le choix du mode pour la suite de la chaîne.

Le prototype du modèle défini par Miller, Roorda, & Carrasco (2005) ne prend en compte que trois modes de déplacement afin de simplifier son estimation : l'automobile conducteur, le transport en commun et la marche. Les données utilisées pour l'estimation proviennent du

Transportation Tomorrow Survey (TTS), un sondage sur les habitudes de déplacements de 5 % des usagers de 11 ans et plus habitant la Région du Grand Toronto. Les paramètres utilisés lors de l'estimation du modèle sont le temps de déplacement en voiture, le temps de déplacement en transport en commun dans le véhicule, le temps de marche pour le déplacement en transport en commun, le temps d'attente du déplacement en transport en commun, le coût du déplacement, le coût du stationnement, le motif principal du déplacement et le type de destination (centre-ville ou intra zonal).

La simulation du modèle de Miller, Roorda, & Carrasco (2005), effectuée selon la procédure de Monte Carlo, présente des résultats très proches des données observées. Effectivement, 89 % des modes simulés à partir des deux modèles estimés correspondent au choix observé. Cela correspond à un taux de succès de 95 % pour l'automobile conducteur, 75 % pour le transport en commun et 70 % pour la marche. Ainsi, une confusion relativement faible existe au sein du modèle. D'autant plus que les confusions observées au sein des résultats, soit les déplacements incorrectement assignés à un mode, sont relativement bien balancées entre les différents modes. Finalement, la part modale agrégée des différents modes simulés est très semblable à celle observée.

### **2.3.2.3 Toronto : Modélisation du choix modal incluant les modes mineurs**

Cette étude de Roorda et *al.* (2009) constitue en fait la suite des travaux présentés dans la précédente étude de Miller et *al.* (2005). Effectivement, les données proviennent de la même enquête et la méthode d'estimation des modes présentés demeure semblable. Néanmoins, le modèle précédent était inapproprié pour une opérationnalisation au sein du Grand Toronto, car il n'estimait que les modes majeurs : automobile conducteur, transport en commun et marche. Cette recherche s'adresse donc à cette déficience en incluant les modes moins importants: train de banlieue (avec rabattement et diffusion en auto/sans auto), vélo, taxi, bus scolaire et métro (avec rabattement et éclatement en auto).

La principale contribution de ce nouveau modèle est qu'il inclue différents sous-modèles permettant de déterminer la disponibilité des modes moins importants. Pour les déplacements en train de banlieue, l'horaire de passage est évidemment pris en compte, car si le service n'est plus ouvert ce mode ne constituera pas une alternative possible. Lorsque le rabattement et la diffusion à la station de train se font en voiture, un retour obligatoire de l'individu vers la station est

modélisé. Également, un modèle de choix de station est intégré, car lorsqu'une personne se rend en automobile vers la station de train, il ne choisit pas nécessairement la station la plus proche. D'autres facteurs tels que la disponibilité de stationnement et la fréquence de service entrent en ligne de compte. Évidemment, la personne doit avoir un permis de conduire et au moins une voiture au domicile. La modélisation de la disponibilité du mode métro avec rabattement et diffusion en automobile vers la station ressemble beaucoup à celle du train de banlieue. Néanmoins, différentes contraintes s'appliquent. Le temps d'accès en automobile vers la station ne doit pas être plus court que le temps d'accès en automobile vers la destination. Finalement, l'origine de la chaîne ne doit pas être plus proche du centre-ville de Toronto que ne l'est la station de métro. Les règles que doit rencontrer un déplacement pour qu'il soit disponible en taxi sont les suivantes : le déplacement doit être court et à l'intérieur de la zone urbaine dense, et il peut avoir comme origine ou destination l'un des deux aéroports de la région. Afin que l'autobus scolaire constitue une alternative, l'individu doit être un étudiant âgé de moins de 19 ans et il doit habiter à plus d'un kilomètre de son lieu d'étude. Pour ce qui est du vélo, la contrainte majeure de ce mode est la distance du parcours. Selon l'enquête étudiée, la distribution des distances varie selon le motif. Ainsi, 96,9 % des déplacements pour le « travail » sont plus petits que 13 kilomètres, 95 % des déplacements pour « école » sont de moins de 8 kilomètres et 98 % des déplacements « autres » sont de moins de 12 kilomètres. Ce sont donc ces distances seuils qui seront utilisées. Tout comme pour les modes impliquant la voiture, le vélo est soumis à la même contrainte liée à la chaîne, c'est-à-dire qu'il devra être ramené à la maison. Par contre, des sous-boucles n'utilisant pas le vélo sont possibles au sein d'une chaîne.

Les résultats du modèle, une fois estimés selon différents paramètres (variables socio-économique, du cadre bâti, du niveau de services des modes et de l'activité) et simulés selon la méthode de Monte Carlo, sont encourageants. Effectivement, dans l'ensemble, les comportements des individus quant à leur choix modal sont correctement prédits à 75 %. Des taux de succès de 91,8 % et 99,5 % sont observés pour l'automobile conducteur et l'automobile passager (vers la même destination que le conducteur) respectivement. Le transport en commun et la marche sont également bien prédits avec un taux de succès de 67,5 % et 62,1 %. Pour ce qui est des modes mineurs, c'est le train de banlieue avec rabattement et diffusion en automobile qui présente le meilleur résultat avec 63 %. Le train sans automobile et l'autobus scolaire ont un taux de réussite acceptable avec 31,6 % et 49,5 %. Par contre, un taux de succès plutôt faible est

observé pour les autres modes mineurs tels que le taxi, le vélo et le métro avec rabattement et diffusion en auto. Aucun de ces trois modes n'est correctement simulé avec au plus 13,5 % de succès.

#### **2.3.2.4 Positionnement de cette recherche par rapport à la littérature existante**

Les études précédentes présentant des modèles de choix modal basés sur les chaînes de déplacements ont chacune leurs forces et leurs faiblesses. D'abord l'étude Yun et al. (2011) a la force de présenter un cadre relativement simple qui introduit les modes principalement utilisés et offre une comparaison du modèle basé sur les chaînes avec un modèle basé sur les déplacements afin d'illustrer l'avantage du premier. Néanmoins, une faiblesse est que la structure des chaînes est limitée à simple ou complexe. L'étude de Miller, Roorda et Carrasco (2005) ainsi que celle de Roorda et al. (2009) ont l'avantage de proposer un cadre complexe qui s'intègre au modèle TASHA, mais n'offrent pas de point de comparaison afin d'illustrer les avancées du modèle. La recherche actuelle se positionne parmi ces dernières à partir d'une méthode innovatrice proposant une classification des modes de transport. Cette classification des modes de transport permettra ensuite une énumération plus exhaustive des séquences modales disponibles pour compléter un type de chaîne donné et facilitera la généralisation de l'application du modèle.

## CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Cette section présente les différentes étapes nécessaires à la conception d'un modèle de choix modal intégrant les chaînes de déplacements. On y présente d'abord une caractérisation des chaînes de déplacements de l'EOD de la GRM à partir de différentes variables ayant une incidence sur le choix modal afin de déterminer celles qui devraient être intégrées au sein du modèle. Ensuite, une typologie des modes de transport est proposée afin de catégoriser les modes selon leur nécessité d'être récupérés à un point d'ancrage. À partir de cette typologie et de celle des chaînes de déplacements développées par Valiquette (2010), une énumération des différentes séquences modales possibles est faite. Cette étape est très importante, car elle justifie les alternatives disponibles pour compléter une chaîne. Également, cette section présente en détail les différentes alternatives modales, incluant celles émergentes, et les paramètres qui composent leur coût généralisé.

### 3.1 La structure spatio-temporelle de la chaîne reste la même

Dans l'exercice de la modélisation du choix modal de la chaîne d'un individu, l'hypothèse que la structure spatio-temporelle des chaînes simulées reste la même que celle de la chaîne réellement observée est émise. Il est donc considéré que les déplacements des chaînes simulées auront le même nombre de déplacements, les mêmes heures de départ et les mêmes destinations que la chaîne observée correspondante. C'est-à-dire que si le premier déplacement de la chaîne débute à 8 h et se fait en automobile conducteur, au sein d'une chaîne simulée ce premier déplacement débute également à 8 h même s'il est plutôt fait en transport en commun. Cela aura vraisemblablement une incidence sur la durée de l'activité. Également, si un déplacement pour motif magasinage fait en automobile conducteur a pour destination un centre commercial peu accessible pour le transport en commun, ce sera tout de même cette destination qui sera considérée lorsque ce déplacement de la chaîne est simulé en transport en commun. Il est évident qu'en réalité si un individu doit effectuer les déplacements d'une chaîne avec des modes autres que ceux observés, il y aurait des changements sur l'heure des départs, la durée des activités, les destinations et le choix de faire un déplacement ou pas. Il serait donc nécessaire de calculer le temps et la distance supplémentaire qu'impliquerait l'utilisation de chacun des modes par rapport au mode observé, ce qui n'est pas le cas dans le cadre de cet exercice.

## 3.2 Source des données

Les données utilisées proviennent principalement de l'EOD de la GRM en 2008. À tous les cinq ans depuis 1970, l'EOD est conduite auprès des ménages afin de recueillir les habitudes de déplacements des résidents de la GRM par téléphone. L'EOD, conduite par un consortium d'autorités de transport de la région Montréalaise, fournit donc les détails de l'ensemble des déplacements de 5 % de la population de la GRM, dont le lieu de domicile, l'origine et la destination des déplacements. La matrice origine-destination (OD), développée à partir de cette enquête, permet entre autres de simuler le temps de déplacement nécessaire à partir des différents modes de transport existants. Des fichiers de chaînes sont également créés selon une méthode développée par Valiquette (2010) à partir des données de l'EOD 2008 (voir Tableau 3.1 et Tableau 3.2). Ainsi, pour ces différentes chaînes, les informations recueillies lors de l'enquête sont disposées en séquences. En accordant une clé unique à chaque chaîne, nous pouvons donc associer les caractéristiques de la chaîne aux différents déplacements qui la constitue dans l'objectif de modéliser le choix modal de ces déplacements en prenant compte de la structure complète de la chaîne. Les fichiers General Transit Feed Specification (GTFS) utilisés dans le cadre de la caractérisation des chaînes selon le milieu bâti des ménages se limitent à ceux de la Société de Transport de Montréal (STM). Le GTFS correspond à un format de données communément utilisé par les sociétés de transport afin de publier leur horaire et informations géographiques auprès des développeurs.

Tableau 3.1 Description des champs de données de l'EOD 2008 pertinents pour le projet

IPERE	Identification unique du déplacement	XORIG YORIG	Coordonnées x,y de l'origine
FEUILLET	Identification unique du ménage		
XDOMI YDOMI	Coordonnées x,y du domicile	XDEST YDEST	Coordonnées x,y de la destination
MOTIF	Motif du déplacement	MODE	Mode unique du déplacement

Tableau 3.2 Description des champs de la base de données de chaîne de l'EOD 2008

CH_ID	Identification unique de la chaîne	CH_NB_BOU	Nombre de boucles au sein de la chaîne
FEUILLET	Identification unique du ménage	CH_OUV	Chaîne ouverte: vrai ou faux
PERS_RANG	Rang de la personne au sein du ménage	CH_NBLIEUX	Nombre de lieux au sein de la chaîne
CH_NO	Numéro de la chaîne par personne	CH_MODES	Séquence des modes de la chaîne
CH_PRIN	Motif principal de la chaîne	CH_MOTIFS	Séquence des motifs de la chaîne
CH_NB_ACT	Nombre d'activités au sein de la chaîne	CH_IPERE	Séquence des déplacements de la chaîne

### 3.3 Caractérisation des chaînes de l'Enquête Origine-Destination

La création d'un fichier de chaînes de déplacement à partir des déplacements de l'EOD 2008 de Montréal selon la méthode de Valiquette (2010) permet l'estimation de différentes variables pour cet objet précis. Effectivement, on y retrouve le nombre de chaînes effectuées par une personne, le motif principal de la chaîne, le nombre d'activités, le nombre de boucles, la catégorie de chaîne, la durée totale de la chaîne, la distance totale de la chaîne et la séquence de modes utilisés pour compléter la chaîne. Toutes ces variables nous permettent ainsi de caractériser les chaînes de déplacements afin d'observer lesquelles auront un impact significatif sur le choix du mode de transport. Dans cette section, nous analyserons également l'effet des variables de la personne, du ménage et du milieu bâti (variables égocentrées) selon les caractéristiques observées dans l'EOD 2008, afin d'observer leur incidence sur le choix modal de la chaîne dans l'objectif de les intégrer éventuellement dans un modèle tel qu'illustré à la Figure 3.1.

Le fichier de base de données des chaînes sur lequel est basée la caractérisation suivante comprend 3 599 132 chaînes (142 290 observations) composées de 7 903 540 déplacements (312 265 observations).

Tableau 3.3 Répartition modale des chaînes de déplacements

Mode unique	%
Automobile conducteur uniquement	48.99 %
Automobile passager uniquement	11.22 %
Transport en commun uniquement	14.50 %
Marche/Vélo uniquement	12.37 %
Bimodal	1.39 %
Mixte	5.81 %
Autres modes identiques	5.72 %

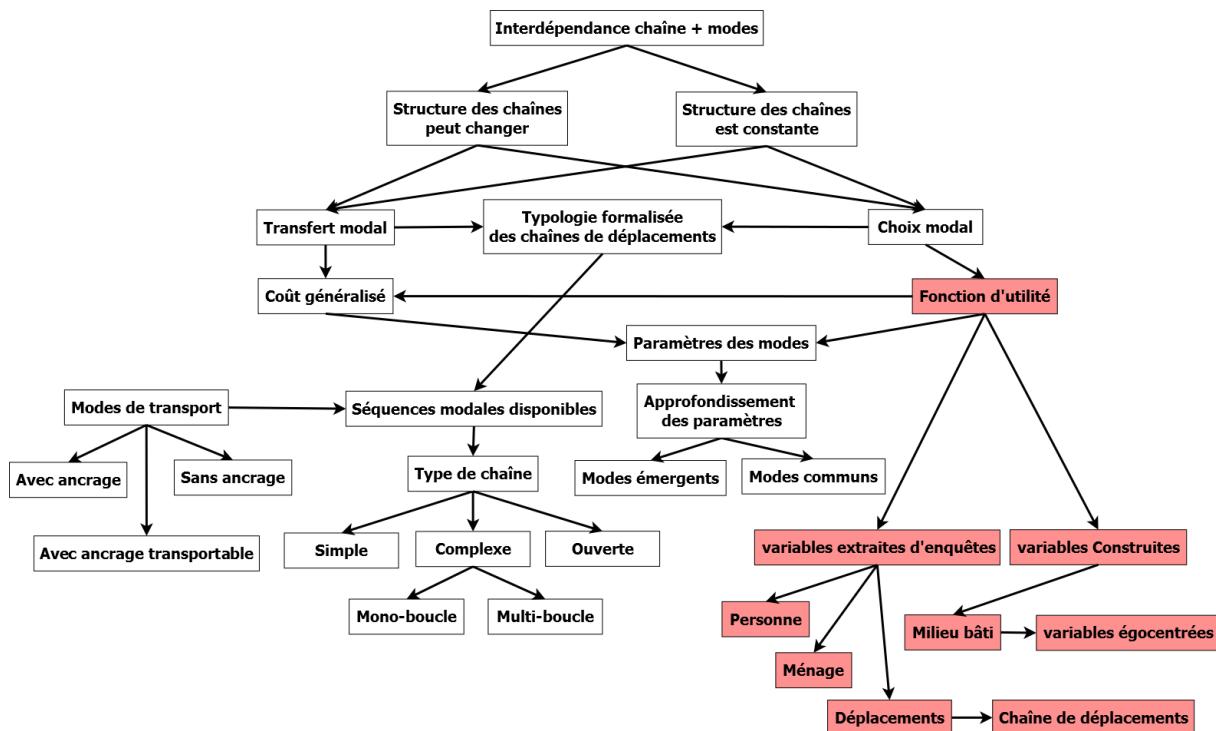


Figure 3.1 Position de l'analyse des variables déterminantes du choix modal au sein du schéma méthodologique global

### 3.3.1 Variables de la personne

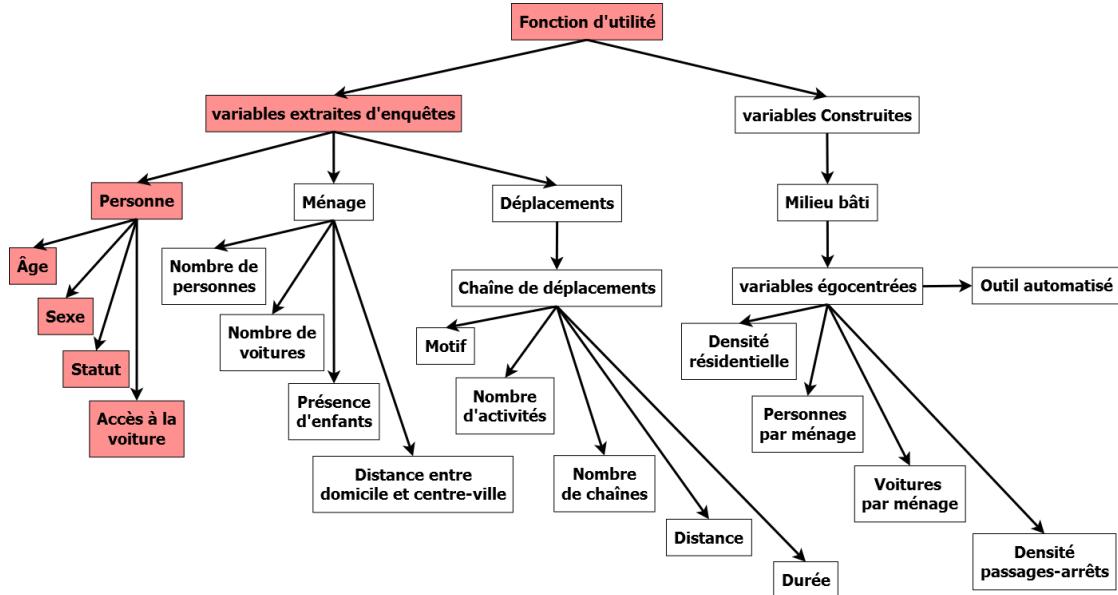


Figure 3.2 Position des variables de la personne au sein du schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal

#### 3.3.1.1 L'âge et le sexe de la personne

La Figure 3.3 présente la répartition modale des chaînes selon l'âge et le sexe des individus. On observe d'abord une différence majeure pour les chaînes complétées en automobile passager entre les hommes et les femmes. Effectivement, à partir de la tranche des 20-24 ans, les chaînes en automobile passager sont significativement plus nombreuses chez les femmes. D'ailleurs, la tendance s'accentue de manière notable à partir de la tranche des 40-44 ans. Également, les femmes utilisent davantage le transport en commun pour leurs chaînes que les hommes dès la tranche des 15-19 ans. Les femmes âgées de 60 ans et plus sont de plus grandes utilisatrices du transport actif. Dans l'ensemble, on constate qu'il y a une grande dominance de chaînes réalisées à partir d'un seul mode. C'est-à-dire que les modes mixtes ne représentent qu'une faible proportion de la répartition modale, principalement chez les hommes.

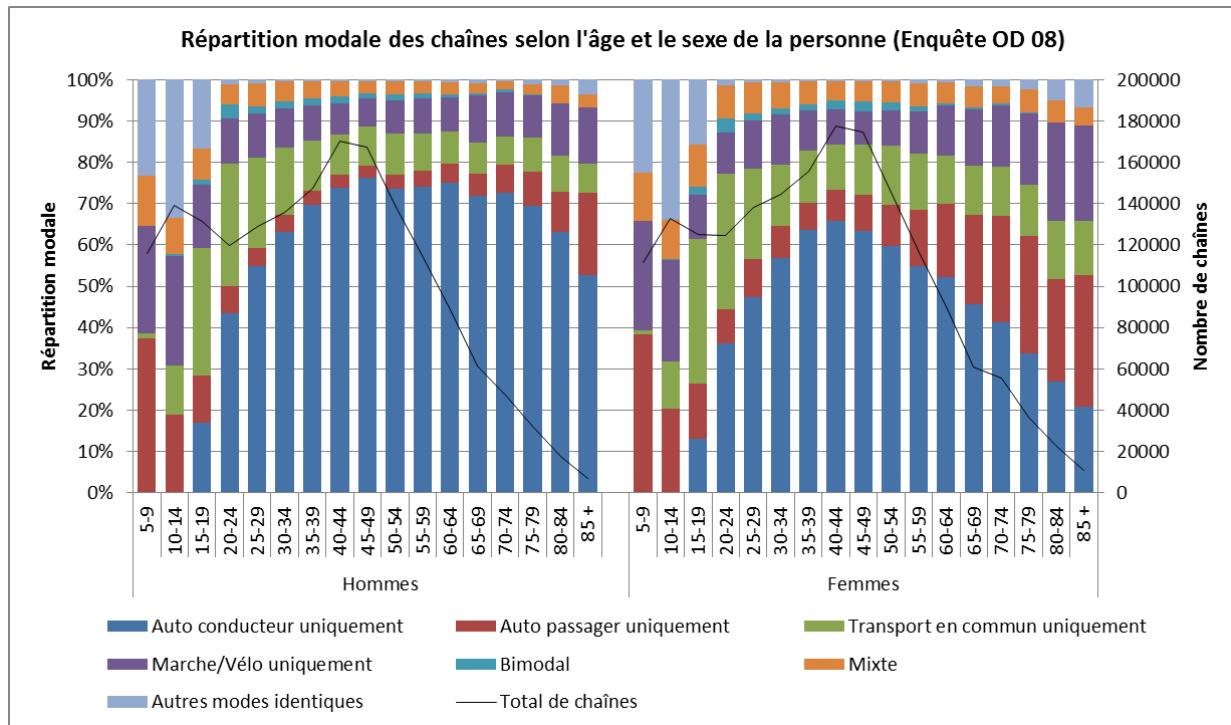


Figure 3.3 Répartition modale des chaînes selon l'âge et le sexe des individus

### 3.3.1.2 Statut de la personne

On observe sur la Figure 3.4 que le statut de la personne est corrélé avec le choix modal de la chaîne; les étudiants présentent une répartition particulièrement différente. Effectivement, alors qu'auprès des individus de statut non étudiant l'automobile conducteur fait l'unanimité en tant que mode le plus important, les étudiants utilisent davantage les transports en commun, les transports actifs, l'automobile conducteur et les autres modes identiques (sans doute le bus scolaire, intégrés à la catégorie « autres modes identiques »). Également, les transports actifs sont beaucoup moins utilisés chez les travailleurs à temps plein qu'auprès des autres catégories de statut. Finalement, notons que bien qu'elles possèdent une faible part modale totale, les séquences bimodales ne sont présentes qu'auprès des travailleurs et étudiants, ce qui pourrait s'expliquer par la moins grande nécessité de faire des chaînes de longues distances des autres catégories.

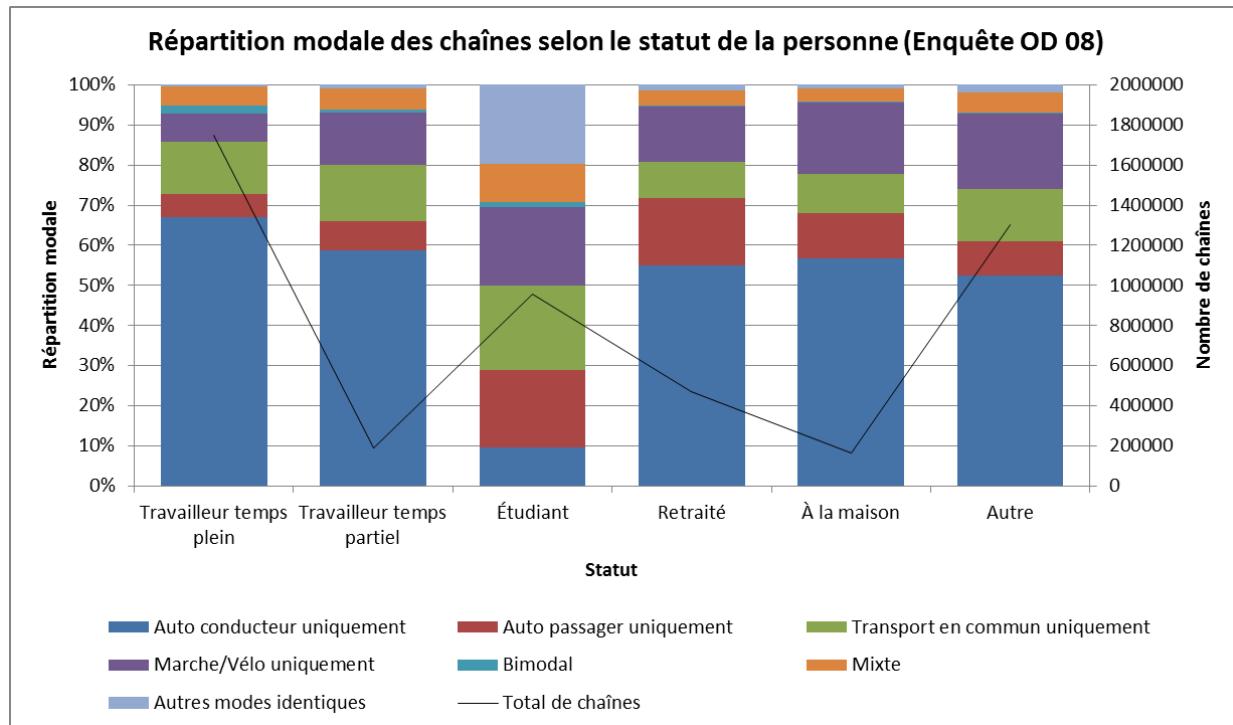


Figure 3.4 Répartition modale des chaînes selon le statut de la personne

### 3.3.1.3 Accès individuel à la voiture

L'accès individuel à la voiture, tel qu'illustré à la Figure 3.5, correspond au nombre de voitures du ménage par rapport au nombre de conducteurs. On remarque sans surprise que plus une personne a accès à une voiture, plus ce sera le mode de prédilection pour faire sa chaîne, et ce même pour les chaînes d'une distance totale de moins de dix kilomètres. On remarque également qu'un meilleur accès à la voiture tend à décourager l'utilisation des transports en commun et actifs, mais il est intéressant de constater l'apparition des séquences bimodales chez les individus ayant un accès partiel ou total de la voiture et devant parcourir plus de 20 kilomètres au courant de leurs chaînes.

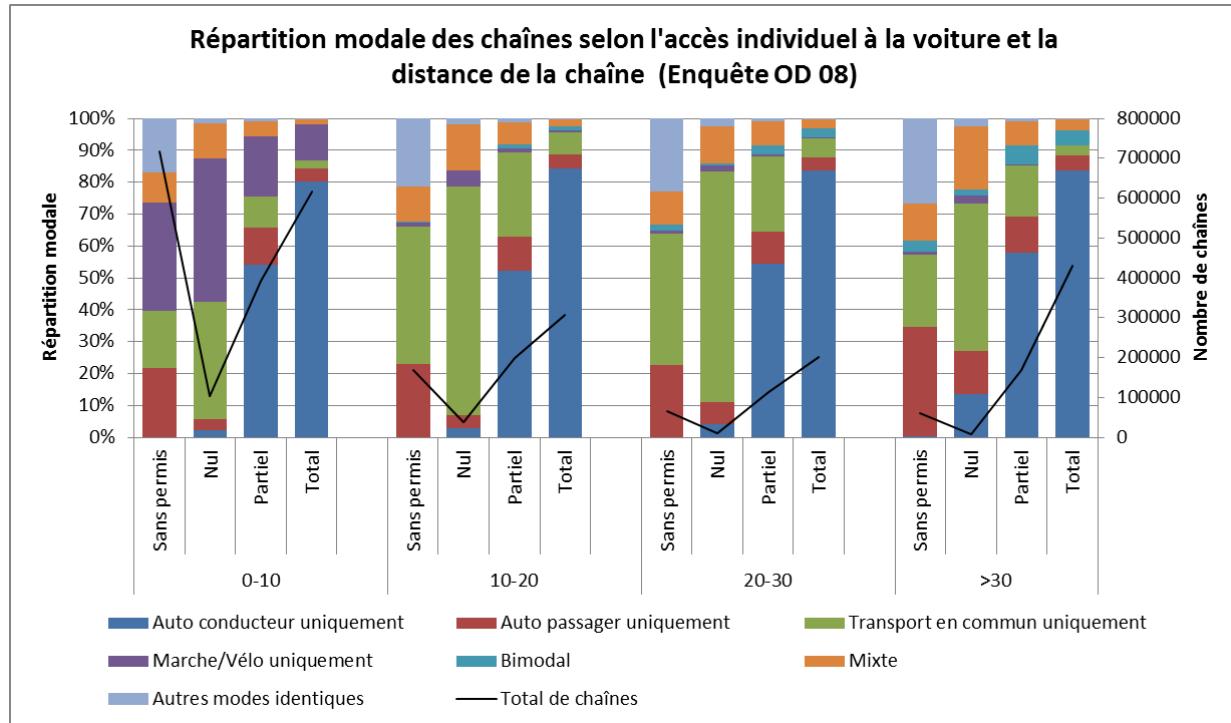


Figure 3.5 Répartition modale des chaînes selon l'accès individuel à la voiture et la distance totale

### 3.3.2 Variables du ménage

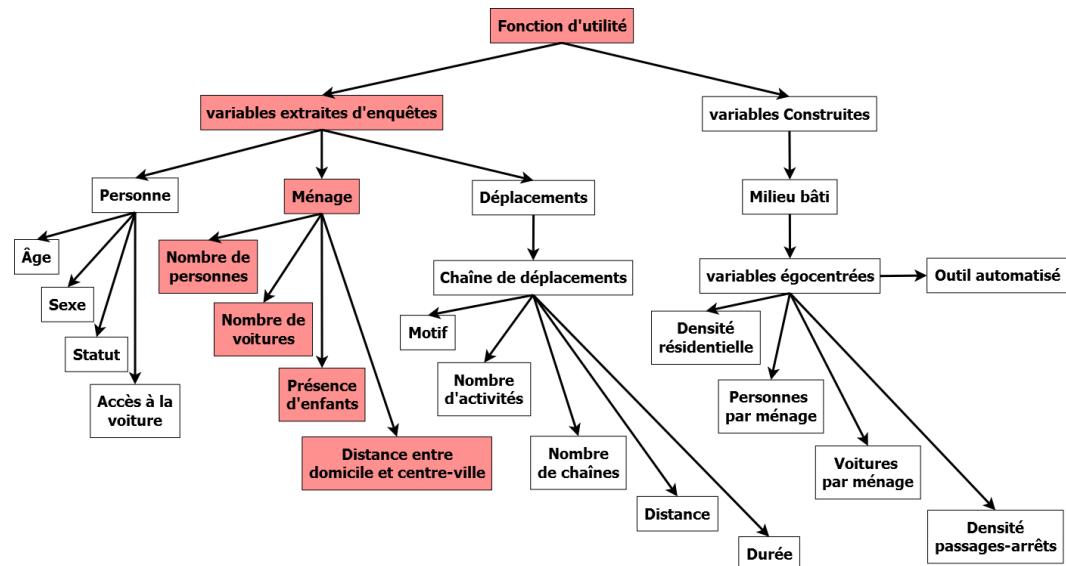


Figure 3.6 Position des variables du ménage au sein du schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal

### 3.3.2.1 Nombre de personnes

Il est intéressant de constater sur la Figure 3.7 que ce sont les individus qui vivent à deux qui utilisent le plus l'automobile conducteur. Également, les personnes vivant seules sont les plus grands utilisateurs de transport en commun quand vient le temps d'effectuer une chaîne de déplacements. Les individus vivant dans des ménages de plus de deux personnes sont de moins grands utilisateurs de l'automobile conducteur et la tendance progresse avec la croissance du ménage. Ils sont néanmoins de plus grands utilisateurs du transport en commun.

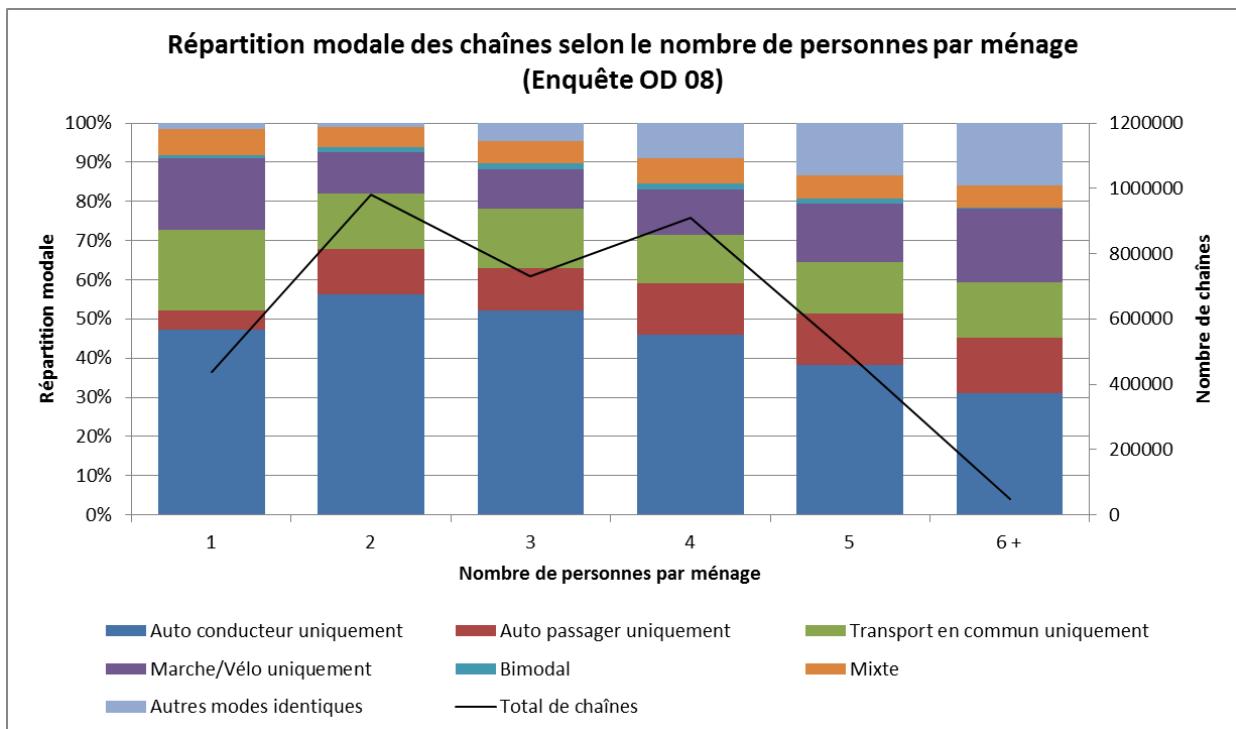


Figure 3.7 Répartition modale des chaînes en fonction du nombre de personnes par ménage

### 3.3.2.2 Nombre de voitures

Comme on peut le voir sur la Figure 3.8, le nombre de voitures au sein du ménage a une incidence importante sur l'utilisation de l'ensemble des alternatives. En effet, une seule voiture est nécessaire au sein du ménage pour faire diminuer de plus de 50 % l'utilisation des transports en commun et actifs pour une chaîne de déplacements. Notons aussi que l'automobile conducteur est le mode le plus utilisé pour les chaînes des individus appartenant à des ménages n'ayant qu'une voiture.

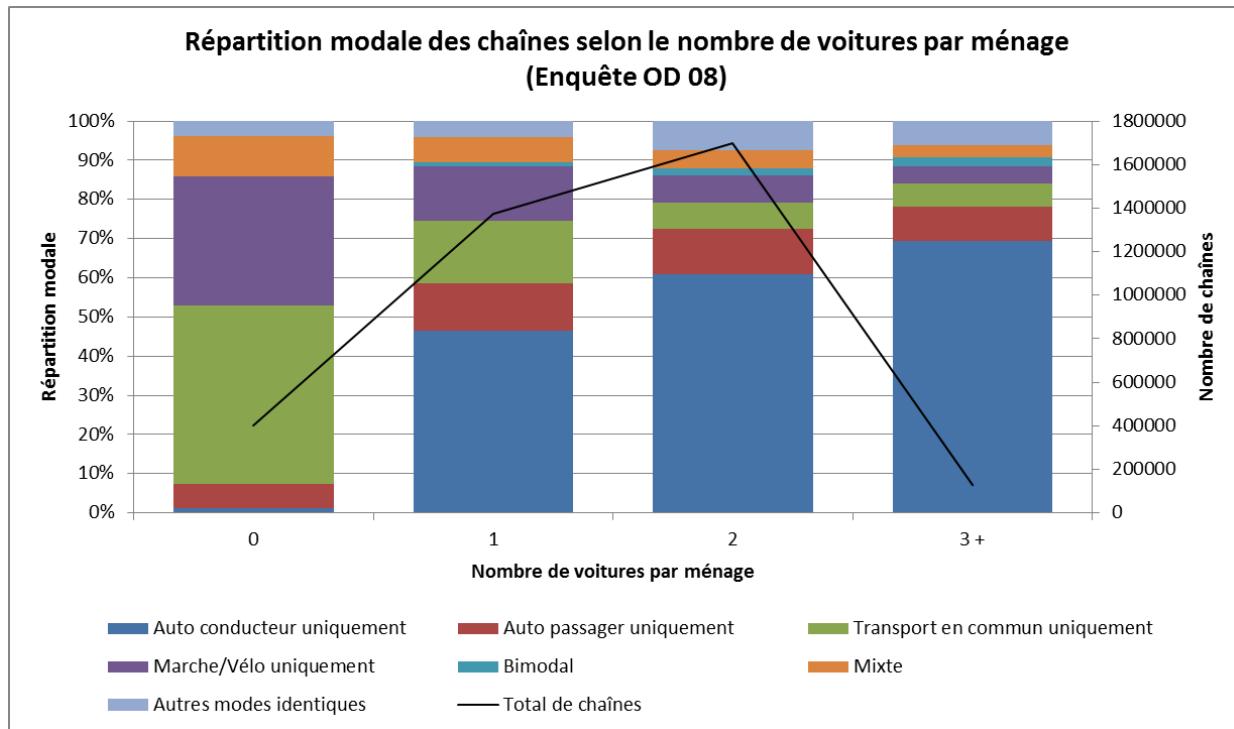


Figure 3.8 Répartition modale des chaînes selon le nombre de voitures par ménage

### 3.3.2.3 Présence d'enfants de moins de 16 ans

Bien que la différence ne soit pas particulièrement significative, la Figure 3.9, permet de constater que les adultes des ménages ayant des enfants de moins de 9 ans utilisent davantage l'automobile conducteur. On peut imaginer que le fait de devoir reconduire et chercher des enfants à leurs différentes activités explique ce comportement. Également, les individus des ménages ayant des enfants de plus de 10 ans ou simplement sans enfant ont tendance à utiliser davantage les transports en commun.

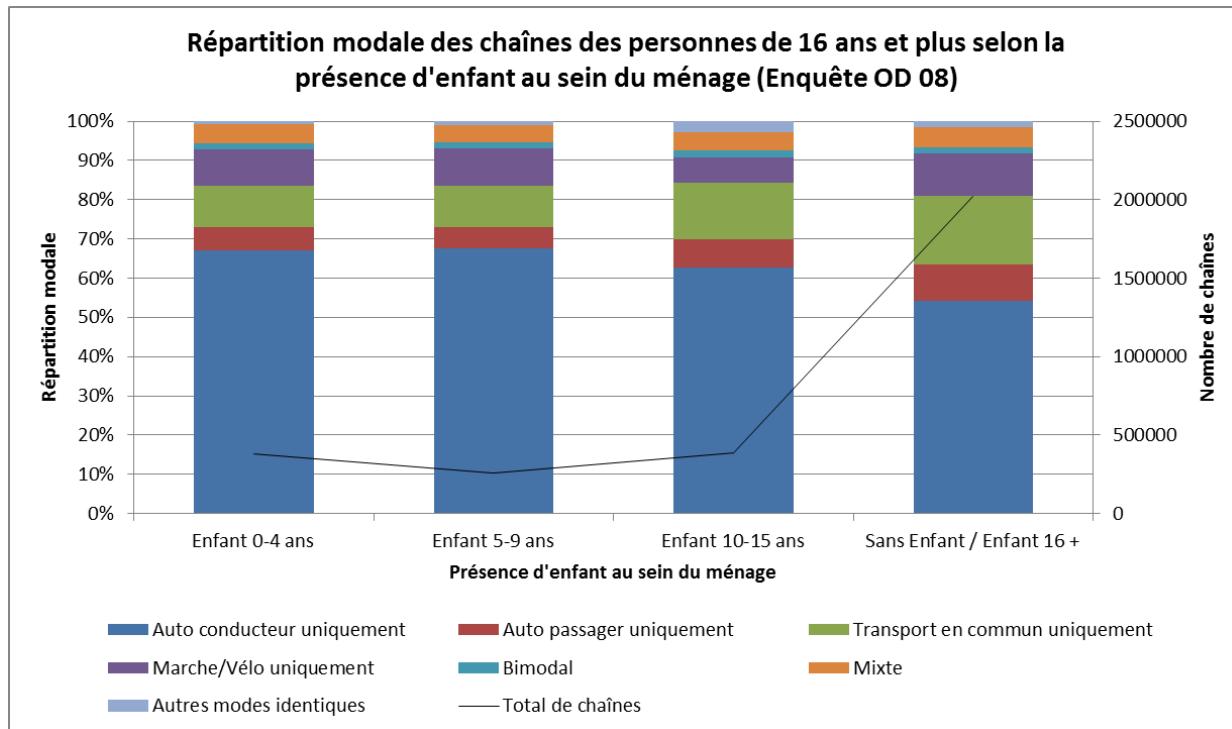


Figure 3.9 Répartition modale des chaînes des personnes de 16 ans et plus selon la présence d'enfant au sein du ménage

### 3.3.2.4 Distance entre domicile et centre-ville

Afin de calculer la distance entre le domicile et le centre-ville, l'intersection des rues Peel et Sainte-Catherine est utilisé comme point de référence. Cet indicateur a un effet significatif sur le choix modal des individus. Effectivement, on observe sur la Figure 3.10 que plus le domicile est situé près du centre-ville, plus l'utilisation des transports en commun est importante. Il est évident que la tendance soit plutôt inverse quant à l'utilisation de l'automobile conducteur étant donné que l'offre des services de transport en commun diminue plus on s'éloigne du centre-ville. D'ailleurs, la part modale du transport en commun, tout comme celle des séquences bimodales, est pratiquement nulle pour les domiciles situés à plus de 50 km du centre-ville, car passé ce cap les services de transports en commun sont inexistants. Également, notons que la part modale des transports actifs est significative pour les chaînes dont le domicile est à moins de 15 km et semble diminuer avec l'éloignement du centre-ville. Néanmoins, elle demeure plus importante que celle du transport en commun, car ces modes demeurent une option intéressante pour compléter ce qui est sans doute une courte chaîne.

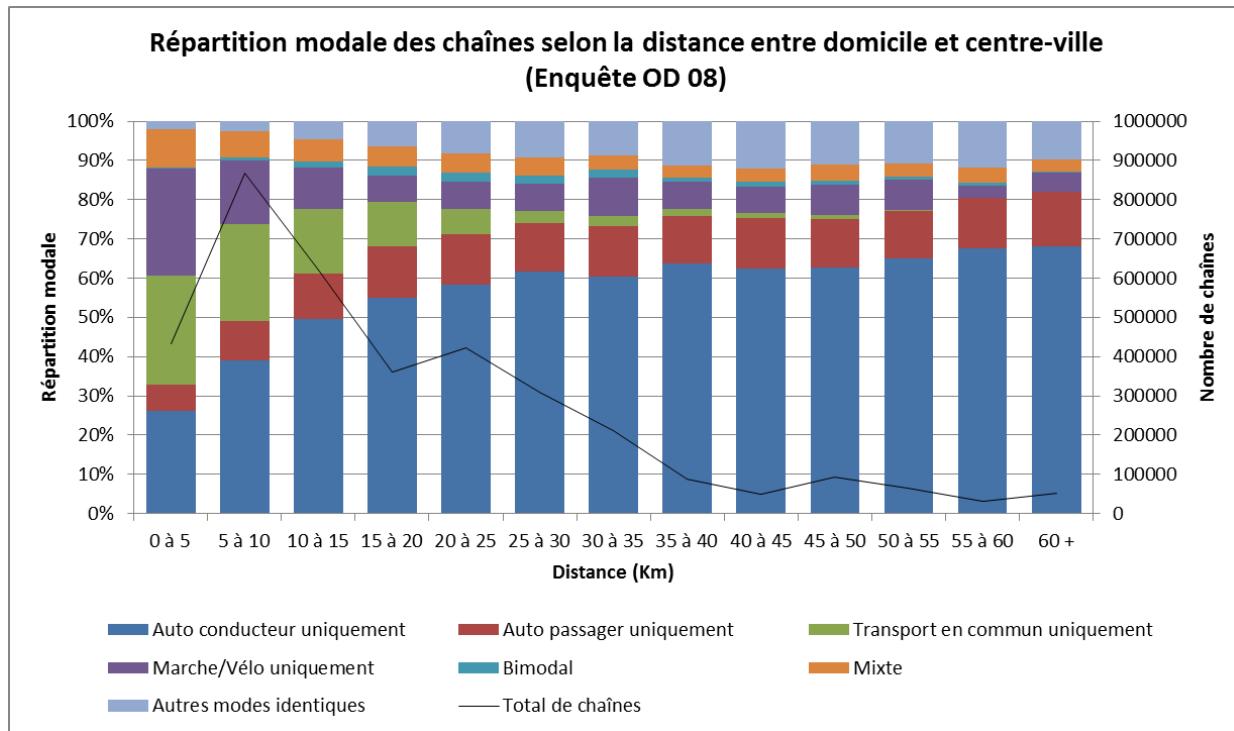


Figure 3.10 Répartition modale des chaînes selon la distance entre domicile et centre-ville

Bien que la répartition des domiciles observés sur la Figure 3.11 ne soit pas pondérée, elle fournit un indice clair quant à l'importance de l'automobile conducteur en périphérie et hors de l'île de Montréal. Parallèlement, les domiciles où résident les individus qui utilisent les transports actifs se situent principalement dans les quartiers centraux de l'île. Les individus qui effectuent leurs chaînes en transport en commun et à partir d'une séquence de modes mixte habitent principalement sur l'île de Montréal et dans sa banlieue proche, soit Longueuil et le sud de Laval.

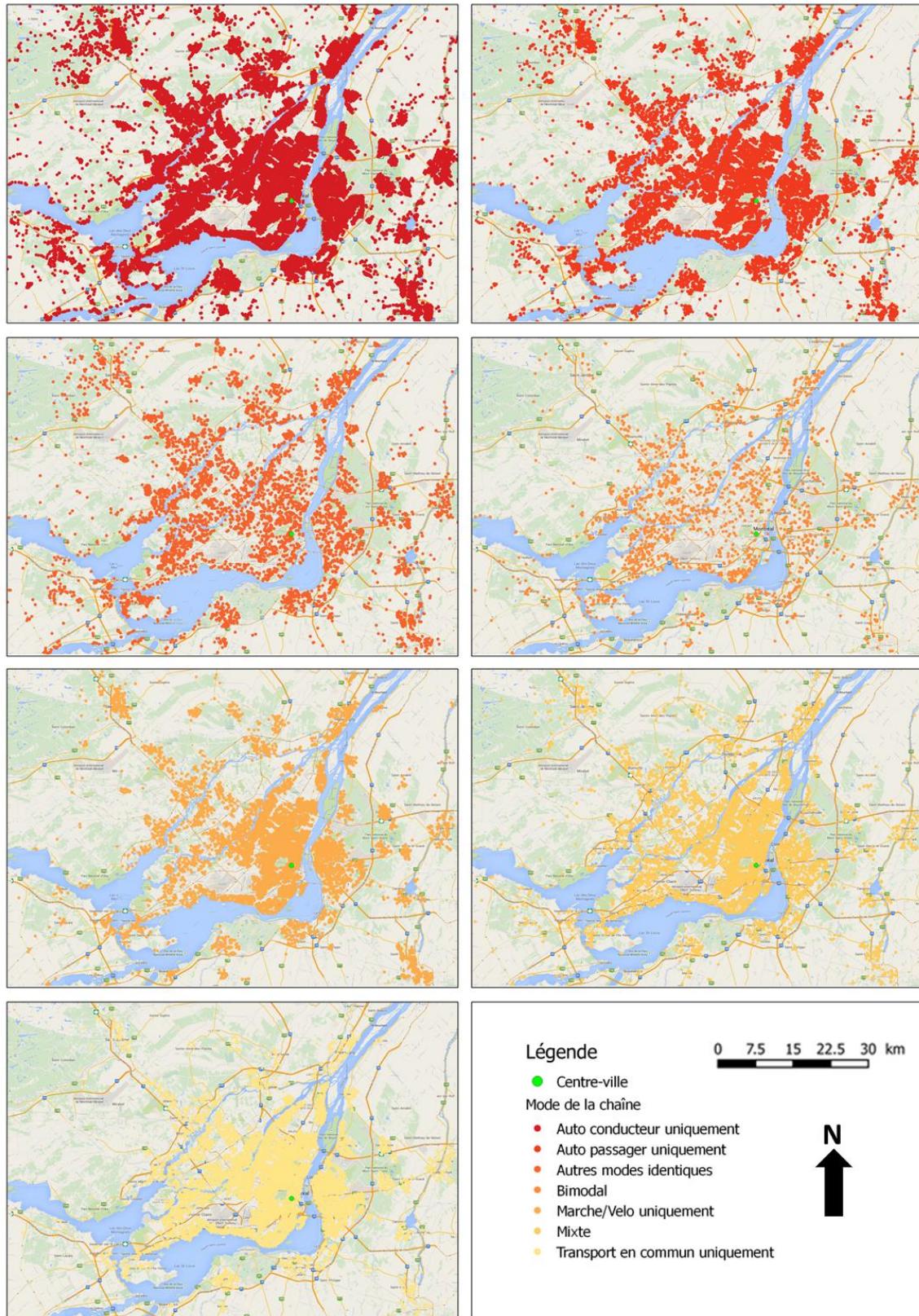


Figure 3.11 Répartition modale des chaînes en fonction de la localisation du domicile

### 3.3.3 Variables du milieu bâti

La méthode de calcul des variables égocentrées proposée par Martel-Poliquin (2012) prend toute son importance dans le cadre de l'étude des variables du milieu bâti. Effectivement, ces variables, généralement centrées sur un ménage, permettent d'évaluer les caractéristiques du voisinage des ménages en fonction d'un rayon donné et d'ainsi permettre une classification des ménages selon leurs voisinages. Étant donné la complexité du calcul individuel de ces variables, une méthode permettant l'automatisation de leur estimation selon la zone tampon désirée est proposée.

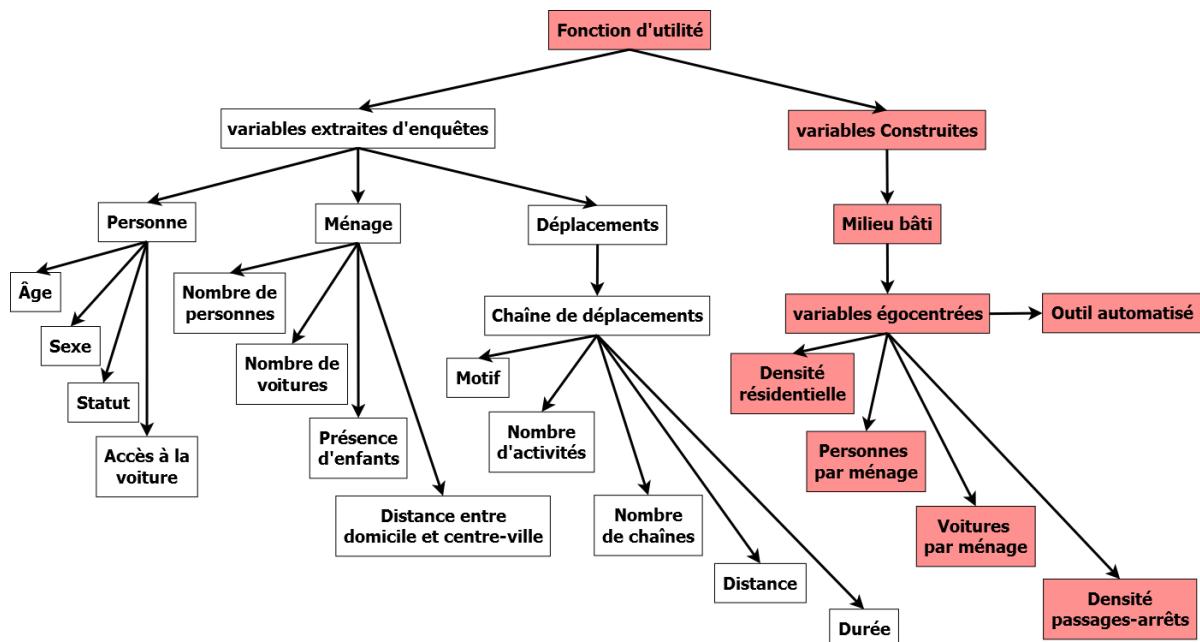


Figure 3.12 Position des variables du milieu bâti au sein schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal

#### 3.3.3.1 Développement d'un outil de calcul des variables du voisinage (égocentrées)

Un outil permettant l'automatisation du calcul des variables égocentrées est en cours de développement. Rappelons d'abord qu'afin de calculer certaines variables du milieu bâti, Martel-Poliquin (2012) propose une méthode de construction de données égocentrées, c'est-à-dire centrées sur un individu ou son ménage. Celles-ci ont l'avantage d'être évaluées au niveau des alentours des domiciles. Effectivement, à partir de cette méthode, une zone tampon est créée pour chacun des ménages d'une enquête au sein de laquelle différentes variables de densité peuvent être estimées (population, commerces, longueur du réseau routier, etc.). Cette méthode permet ainsi de mesurer les variables à une échelle très désagrégée et de faire une classification des

ménages selon la similarité de leurs attributs. Le schéma présenté à la Figure 3.13 illustre les différentes étapes qui seront automatisées par l'outil.

#### A) Données

La première étape afin d'automatiser l'outil est de déterminer les différentes bases de données qui y seront intégrées. Évidemment, si l'on souhaite analyser le voisinage d'un ménage, une première base de données devra contenir les coordonnées géographiques des différents ménages à l'étude, par exemple l'EOD d'une année donnée. Les coordonnées sont ainsi transformées en point géographique qui contient toutes les informations nécessaires. On intègre ensuite les différentes bases de données avec lesquelles nous souhaitons croiser les ménages étudiés. Ces données peuvent se retrouver sous trois différentes formes géographiques : points, lignes et surfaces. Par exemple :

- le réseau routier, piétonnier ou cyclable d'Open Street Map (OSM);
- les données GTFS de différentes sociétés de transport;
- les données de Statistique Canada (population);
- une base de données commerciale;
- les données de différents services de transport : Bixi, Communauto, taxi;
- les données de stationnement telles qu'estimées selon la méthode de Bourdeau (2014)

#### B) Traitement

La deuxième étape consiste en un traitement des données des ménages étudiés selon les paramètres désirés par l'utilisateur de l'outil afin de leur attribuer une zone tampon. Il est important que l'utilisateur ait le choix de la grandeur de la zone tampon, car il pourra ainsi tester les grandeurs les plus significatives selon ses objectifs. Deux méthodes sont possibles :

- Une surface tampon en forme de disque selon la longueur du rayon désirée par l'utilisateur.
- Une surface tampon selon la longueur (ou le temps) désirée calculée sur un réseau routier. Cette méthode a l'avantage d'être plus réaliste, car elle tient compte du milieu bâti dans une zone d'accessibilité à partir du domicile du ménage. Ainsi, une surface

tampon pourrait avoir davantage la forme d'une tache pour s'étendre d'un côté du ménage et être restreinte de l'autre en raison d'une barrière spatiale. Les éléments derrière cette barrière spatiale ne seraient donc pas pris en considération lors de l'estimation de la variable. Le paramètre de la longueur pourrait également devenir un paramètre de temps de déplacement, sachant la vitesse de déplacement du mode voulu. Par exemple, sachant que la vitesse moyenne de marche est 4 km/h, en décidant une zone tampon selon un paramètre de 15 minutes de marche, ce serait donc équivalent à une longueur de 1 km sur le réseau.

- C) Le calcul consiste en l'étape où les ménages et les objets provenant des bases de données intégrées sont croisés. Ainsi, les objets qui entrent géographiquement en intersection avec la zone tampon d'un ménage sont enregistrés dans une nouvelle table. C'est ensuite à partir de cette table que seront développés les indicateurs souhaités par l'utilisateur selon leur type (nombre absolu, densité, etc.)
- D) Au niveau des résultats, l'idée est de développer une interface permettant la visualisation des indicateurs calculés (tableau, graphique, carte). L'utilisateur peut également souhaiter recevoir un fichier détaillé des résultats afin d'intégrer les données à un éventuel modèle.

Afin de développer l'outil, la combinaison du logiciel de programmation Python et du logiciel de requête spatial PostGIS est testée. Le principal défi rencontré consiste en la création de la zone tampon selon une longueur réseau. Bien que la programmation de l'outil ne soit pas complétée, le cadre méthodologique élaboré dans le cadre de ce projet de recherche en assurera la réalisation à court terme.

## Outil: calcul des variables égocentrées

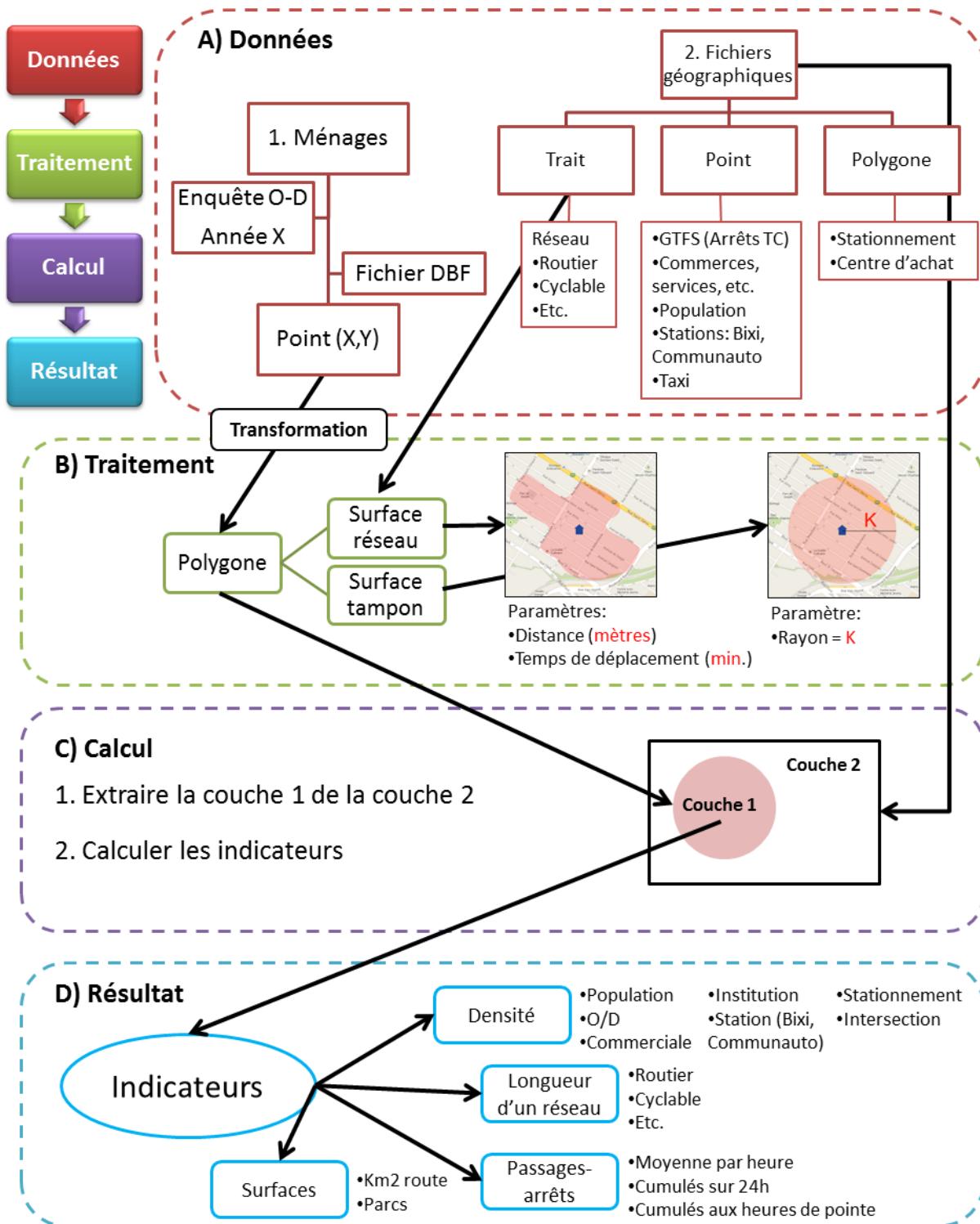


Figure 3.13 Schéma méthodologique de l'outil de calcul des variables égocentrées

### 3.3.3.2 Densité résidentielle dans un voisinage de 500 mètres

Sur la Figure 3.14, on observe très clairement la relation entre la densité résidentielle dans un voisinage de 500 mètres et le comportement de mobilité des individus quant au mode de transport de leur chaîne. Effectivement, plus le voisinage d'un ménage possède une densité élevée, plus les modes actifs et le transport en commun constituent les alternatives de préférence pour compléter une chaîne de déplacements. Inversement, l'automobile conducteur est un mode davantage choisi pour effectuer une chaîne lorsque l'individu demeure dans un voisinage où il y a une densité moins élevée de ménages. La Figure 3.15 illustre d'ailleurs la répartition des domiciles en fonction de la densité de ménages de leur voisinage. On remarque sans surprise que les voisinages où on retrouve la plus grande densité résidentielle se trouvent dans les quartiers centraux, là où les services de transport en commun et la connectivité des rues sont meilleurs. Le nombre de voitures et de personnes dans un rayon de 500 mètres des ménages est fortement corrélé au nombre de ménages. Ces deux dernières variables nous permettent d'ailleurs d'observer les mêmes tendances (voir Figure A.2 et Figure A.3 en Annexe A).

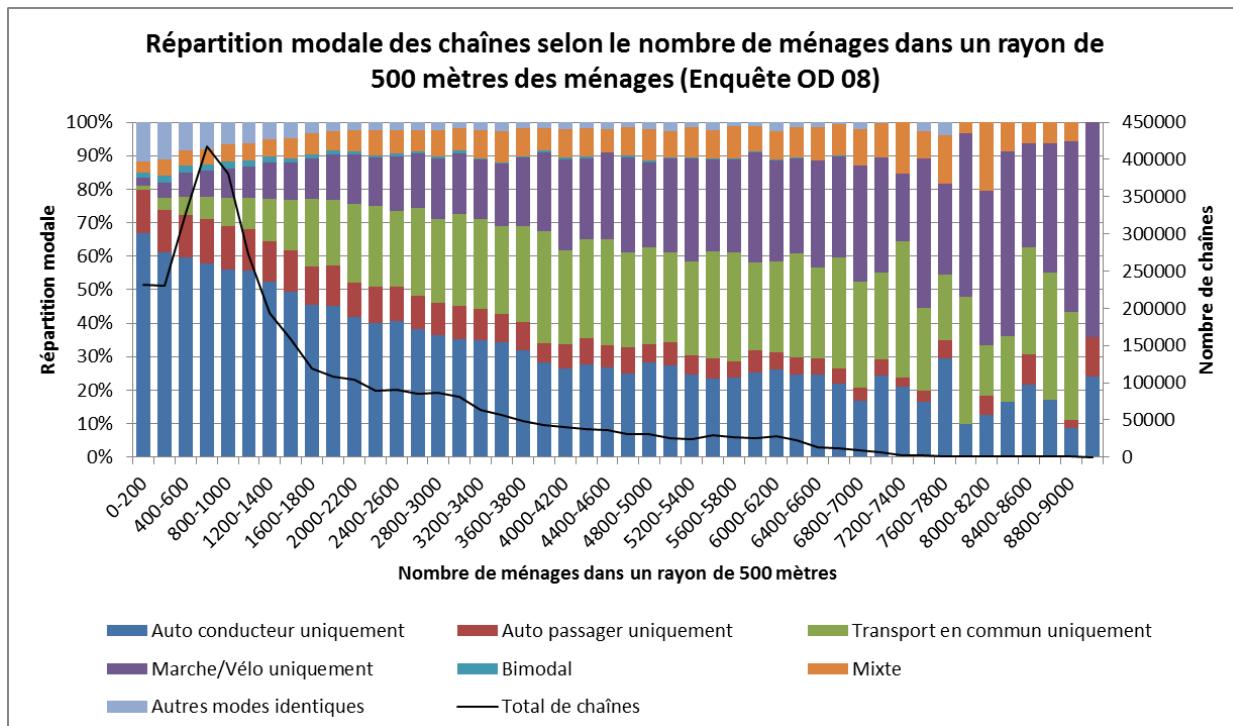


Figure 3.14 Répartition modale des chaînes selon le nombre de ménages dans un rayon de 500 mètres

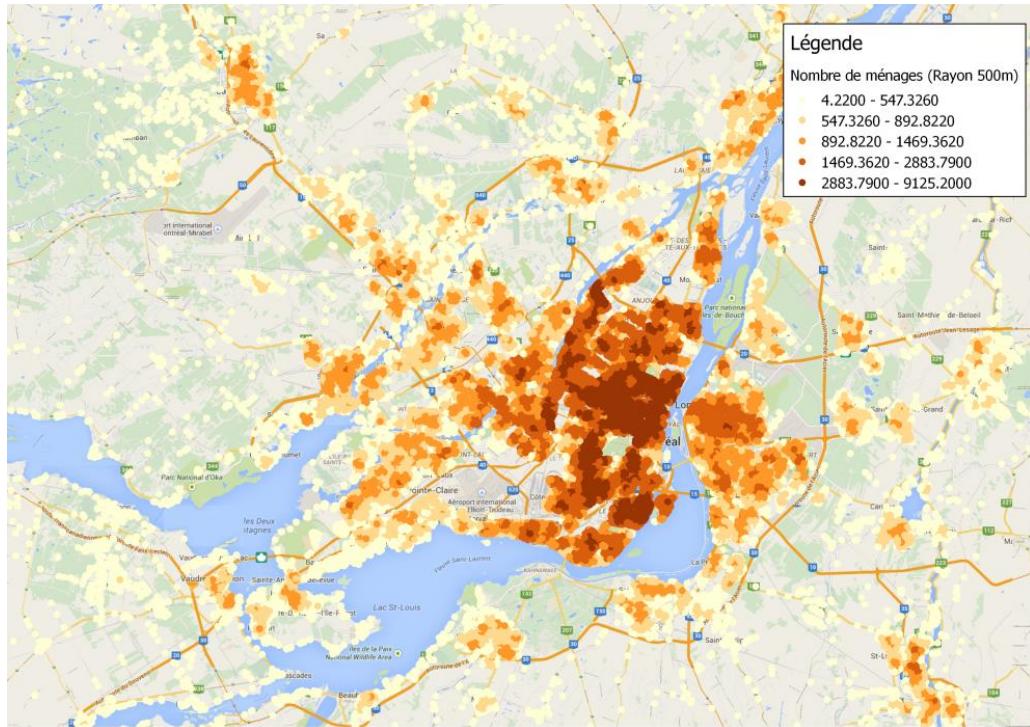


Figure 3.15 Répartition spatiale des domiciles selon le nombre de ménages de leur voisinage (rayon 500m)

### 3.3.3.3 Nombre de personnes par ménage dans un voisinage de 500 mètres

À partir de la Figure 3.16, on remarque que plus le voisinage du domicile d'un individu possède un nombre élevé de personnes par rapport au nombre de ménages, plus l'automobile passager sera utilisée afin de compléter la chaîne, ce qui est également le cas pour les autres modes identiques. Néanmoins, l'utilisation des modes actifs et du transport en commun diminue avec cette tendance. D'ailleurs, comme on peut le voir sur la Figure 3.17, ce type de ménage dont le voisinage possède un taux de personnes par ménage élevé se trouve principalement en périphérie de la ville. Il est donc normal que le nombre de chaînes fait en transport en commun et actif y soit moins présent en raison d'une offre plus faible.

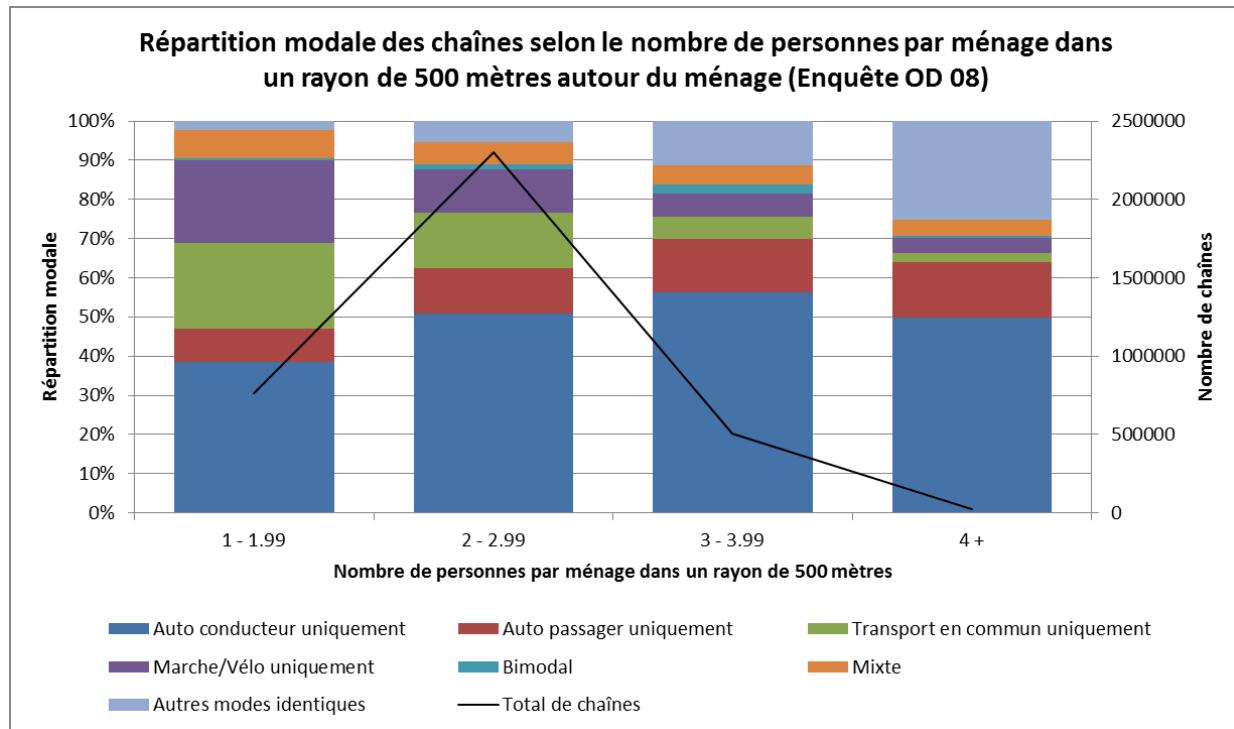


Figure 3.16 Répartition modale des chaînes selon le nombre de personnes par ménage dans un rayon de 500 mètres

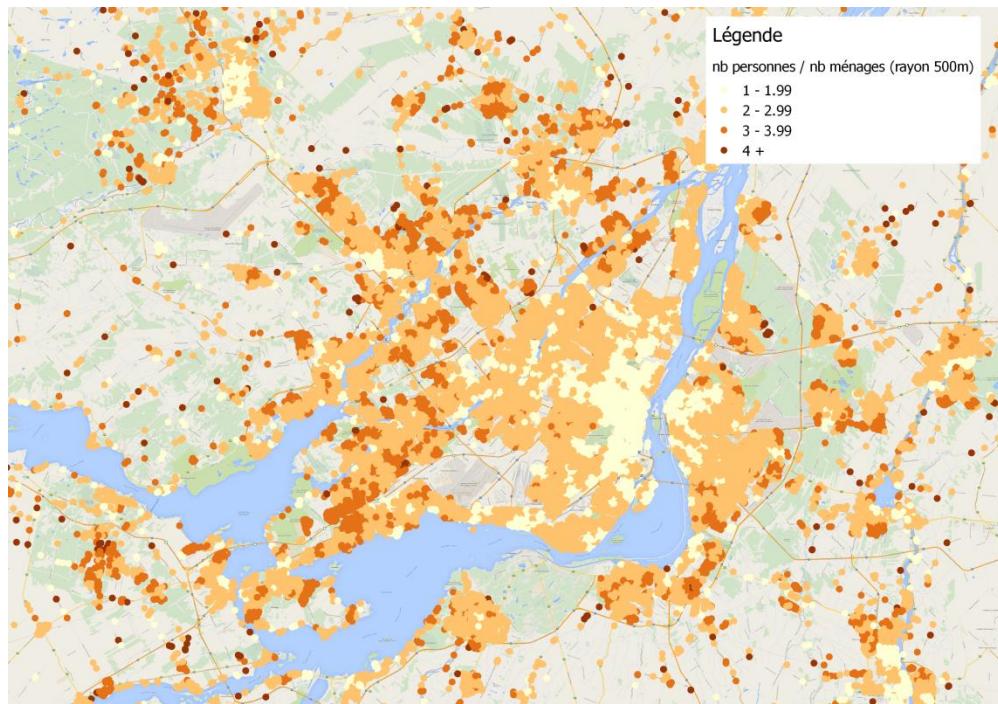


Figure 3.17 Répartition spatiale des domiciles selon le nombre de personnes par ménage de leur voisinage (rayon 500m)

### 3.3.3.4 Nombre de voitures par ménage dans un voisinage de 500 mètres

La Figure 3.18 illustre l'effet du taux de voitures par ménage d'un voisinage sur le choix modal des individus qui y habitent. Il semble évident que plus ce taux est élevé, plus les chaînes sont complétées en automobile conducteur. Effectivement, la répartition spatiale des domiciles caractérisés par cette variable (Figure 3.19) démontre que ceux dont le rapport voitures par ménage du voisinage est le plus élevé sont situés en périphérie. Ces secteurs sont d'ailleurs réputés pour leur dépendance à l'automobile. Parallèlement, avec l'augmentation de ce taux, on observe une diminution importante de la proportion des chaînes effectuées en transports actifs et en commun. Comme discuté précédemment, cela s'explique par une moins bonne offre des services de transport en commun en périphérie de l'île, ainsi que par une voirie mal adaptée à la marche et au vélo.

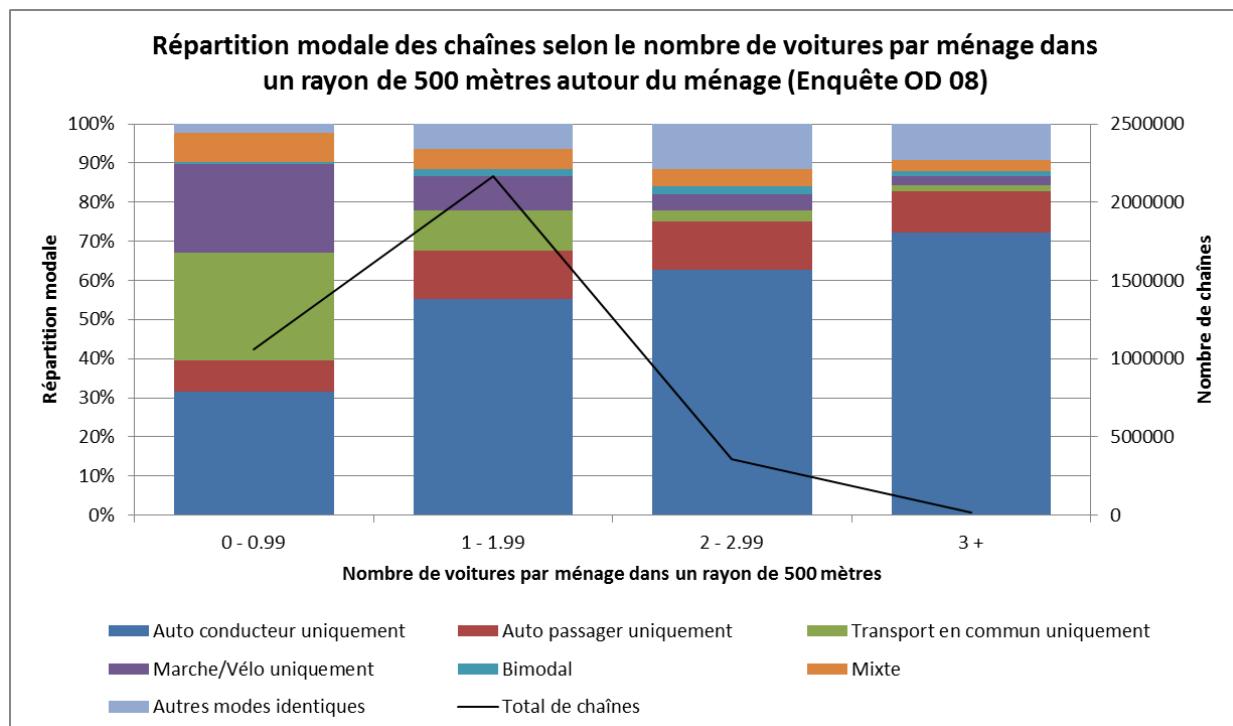


Figure 3.18 Répartition modale des chaînes selon le nombre de voitures par ménage dans un rayon de 500 mètres

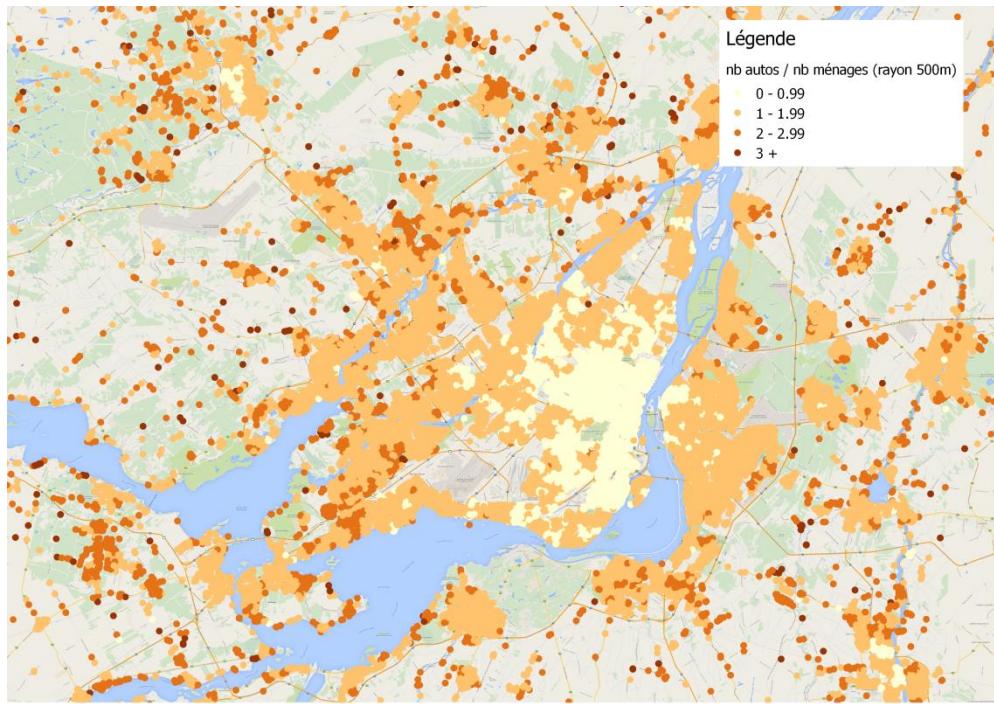


Figure 3.19 Répartition spatiale des domiciles selon le nombre de voitures par ménage de leur voisinage (rayon 500m)

### 3.3.3.5 Nombre de passages-arrêts dans un voisinage de 500 mètres

La Figure 3.20 illustre l'impact du nombre de passages-arrêts à proximité du domicile sur les habitudes d'utilisation du transport en commun des personnes afin de compléter une chaîne. Précisons que les données avec lesquelles a été fait ce graphique ne correspondent pas à l'ensemble des chaînes de l'EOD 2008, mais plutôt aux chaînes pondérées dont le domicile se trouve à moins de 500 mètres d'un arrêt ou station de transport en commun de la Société de Transport de Montréal (STM). On peut observer que plus le nombre de passages-arrêts augmente dans une journée, plus les chaînes ont tendance à être effectuées en « transport en commun uniquement ». Parallèlement, on remarque que la tendance à utiliser l'automobile conducteur diminue. Les résultats obtenus lors de cette analyse sont similaires à ceux obtenus par Martel-Poliquin (2012). Il faut tout de même souligner que les observations faites ici peuvent être en lien avec la distance des domiciles étudiés par rapport au centre-ville ou avec la densité des intersections sur le réseau routier. Évidemment, plus on se rapproche du centre de la ville, plus le réseau de transport en commun s'améliore. Également, un réseau routier où les intersections sont plus rapprochées aura nécessairement un lien avec la densité des arrêts qui s'y trouvent.

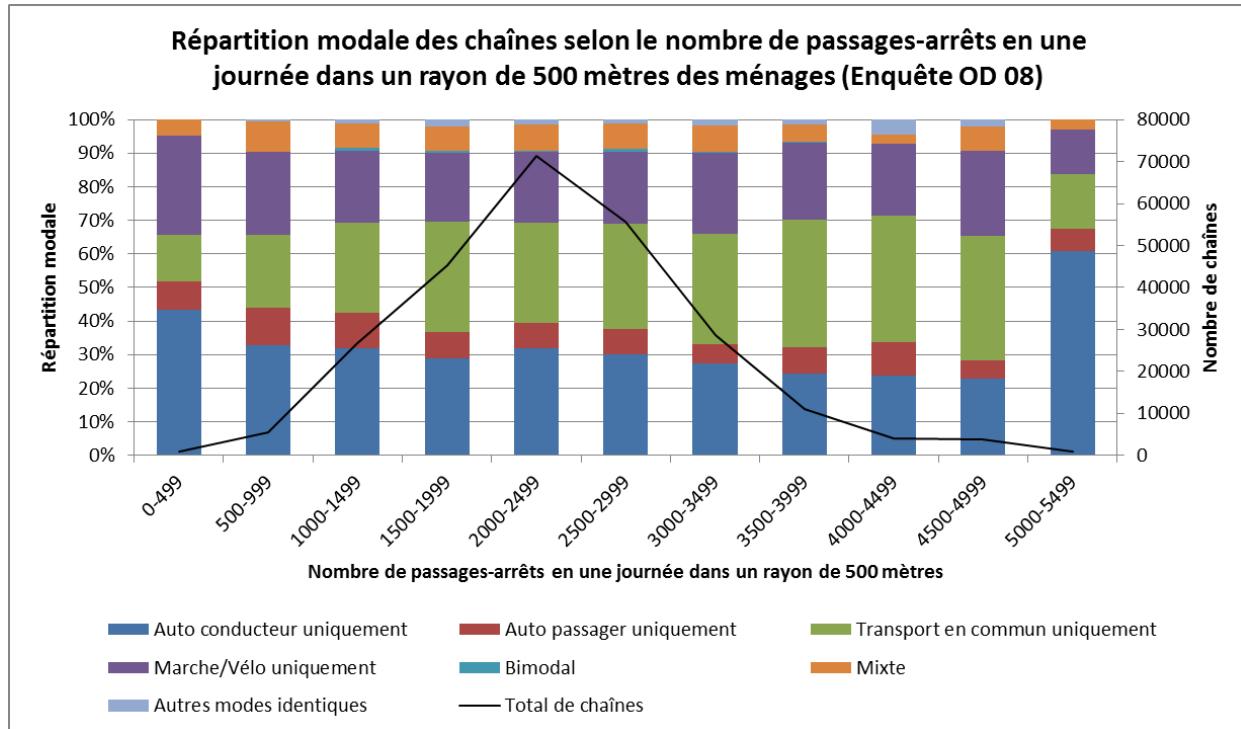


Figure 3.20 Répartition modale des chaînes selon le nombre de passages-arrêts en une journée dans un rayon de 500 mètres

### 3.3.4 Variables de la chaîne de déplacements

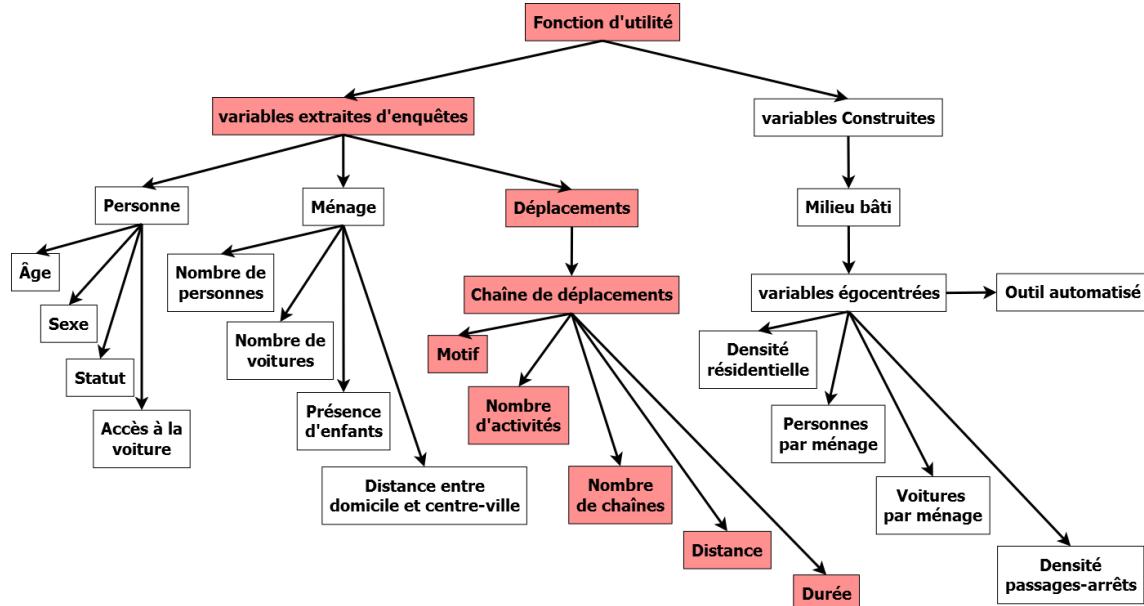


Figure 3.21 Position des variables de la chaîne au sein du schéma d'analyse des variables déterminantes du choix modal

### 3.3.4.1 Le motif principal

La Figure 3.22 présente la répartition modale des chaînes en fonction du motif principal. On peut y observer que la part modale de l'« automobile conducteur uniquement » est la plus importante pour l'ensemble des motifs, à l'exception du motif « étude ». Les chaînes au motif « étude » sont quant à elles principalement effectuées en transport en commun ou à partir d'autres modes identiques, le bus scolaire pour les enfants du primaire et secondaire par exemple. La part modale des modes mixtes, bien qu'au total n'est pas très importante, se concentre principalement au sein des chaînes à motif « étude ». On observera plus loin (Figure 3.30) que ces séquences de modes mixtes sont principalement composées d'une combinaison de l'automobile passager avec un autre mode. Finalement, le mode bimodal, qui au total détient la plus faible part modale (1,4 %), retrouve tout de même sa concentration la plus importante au sein des chaînes à motif « travail ».

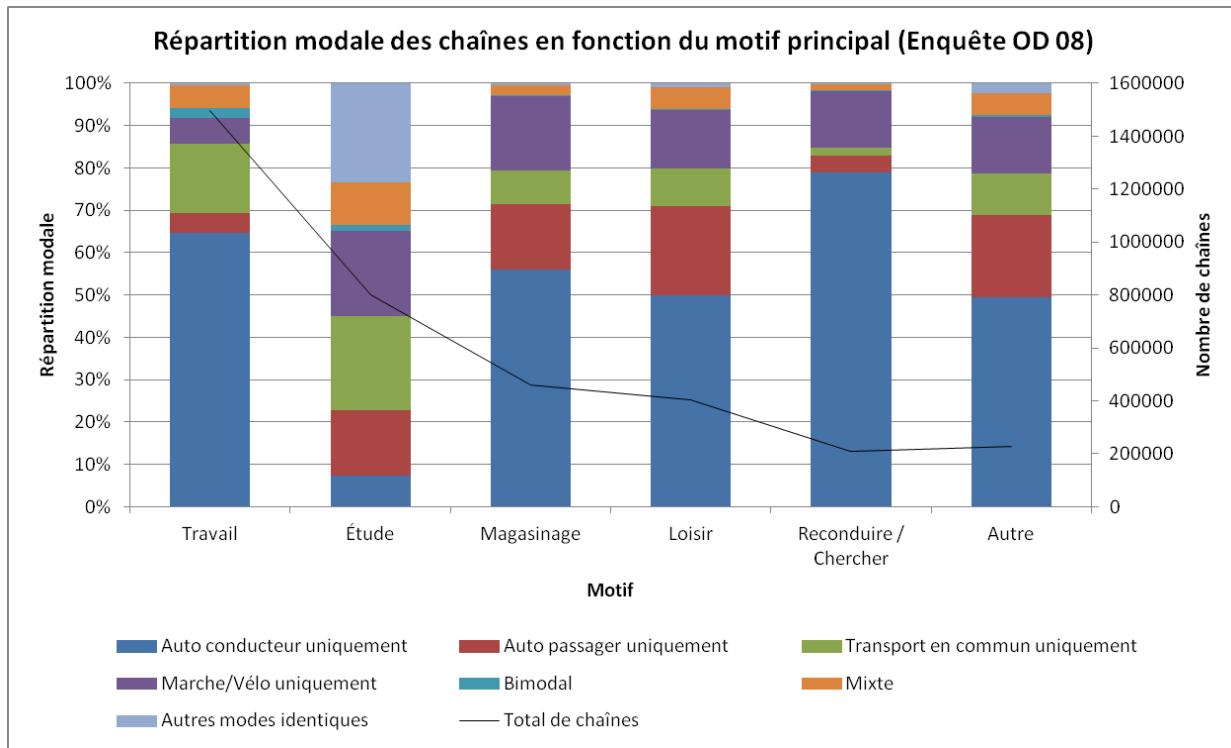


Figure 3.22 Répartition modale des chaînes en fonction du motif principal

### 3.3.4.2 Le nombre d'activités

À partir de la Figure 3.23, on observe la répartition modale des chaînes selon le nombre d'activités. On peut d'abord observer que les chaînes ne comportant qu'une seule activité sont de loin les plus importantes. Plus le nombre d'activités augmente au sein d'une chaîne, plus la part

modale de l'« automobile conducteur uniquement » est importante. Cette observation vaut également pour les chaînes effectuées en mode mixte, bien que la proportion se stabilise pour les chaînes de deux activités et plus. C'est plutôt le contraire pour la part modale des autres modes de transport, plus le nombre d'activités augmente, plus la part modale diminue. Il est tout de même intéressant de constater que les chaînes effectuées à l'aide d'« autres modes identiques » (6,6 %) et d'une séquence bimodale (1,6 %) sont exclusivement des chaînes ne comportant qu'une seule activité. Il est important de noter que l'étude de ces variables comporte un certain problème d'interdépendance. Le nombre d'activités semble affecter le choix du mode, mais le contraire est également vrai. Le mode choisi pour compléter une chaîne affecte aussi le nombre d'activités effectué par un individu.

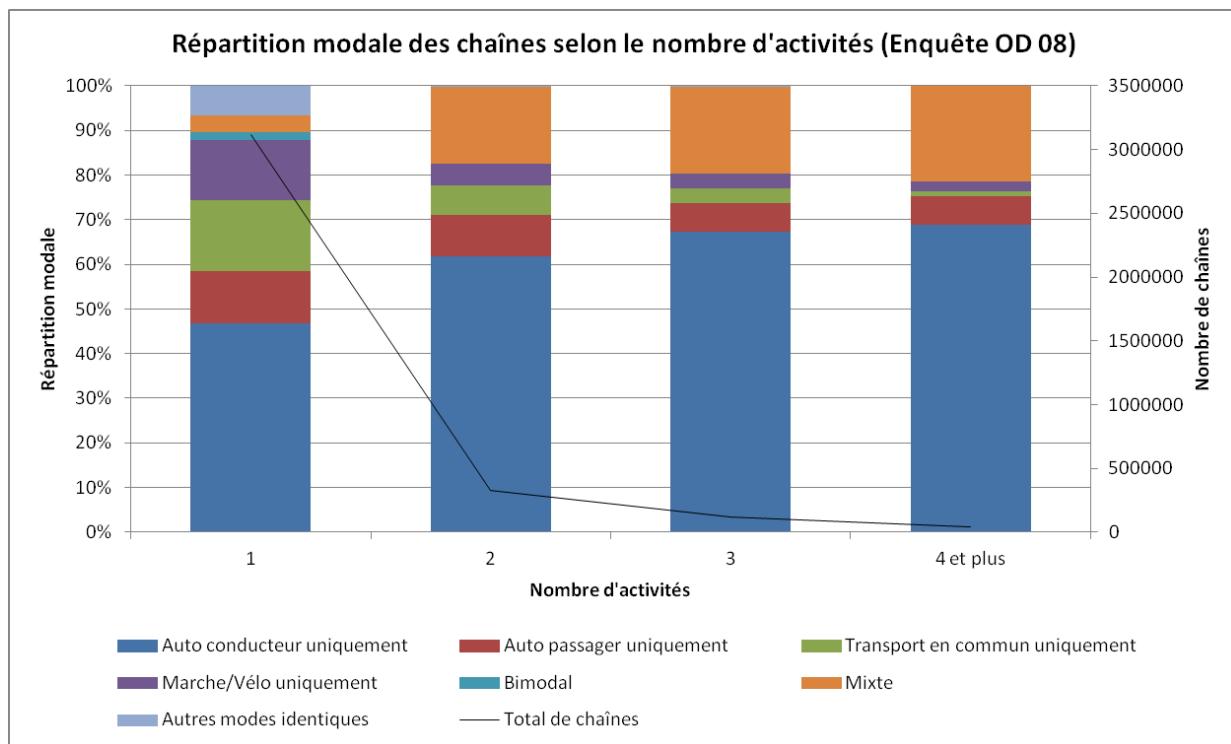


Figure 3.23 Répartition modale des chaînes selon le nombre d'activités

### 3.3.4.3 Nombre de chaînes

On peut observer l'effet du nombre de chaînes au sein du système d'activité quotidien d'une personne sur la répartition modale à partir de la Figure 3.24. On remarque d'abord que les systèmes d'activités ne comportant qu'une seule chaîne sont de loin les plus nombreux, suivis par les systèmes comportant deux chaînes. Plus le nombre de chaînes augmente au sein du système

d'activité, plus la part modale de l' « automobile conducteur uniquement » augmente. On observe la même tendance pour la part modale de la « marche/vélo uniquement ». Également, on constate que la part modale du « transport en commun uniquement » diminue avec l'augmentation du nombre de chaînes au sein du système d'activité. On peut imaginer que cette tendance est due à l'heure de la journée à laquelle les chaînes suivantes sont effectuées, ainsi qu'à leur motif. L'offre de service du transport en commun n'est certainement pas la même à l'heure où une personne effectue sa première chaîne, qu'à l'heure où elle effectue sa quatrième chaîne de la journée. De plus, tel que le présente la Figure 3.25, la répartition des motifs varie beaucoup en fonction de la séquence de la chaîne au sein du système d'activité. Effectivement, les parts des chaînes à motif « travail » et « étude » diminuent plus la chaîne est tardive au sein du système d'activité. Au contraire, on observe plutôt une augmentation de la part des chaînes à motif « reconduire/chercher », « magasinage » et « loisir », au sein des chaînes suivantes par rapport à la première du système d'activité.

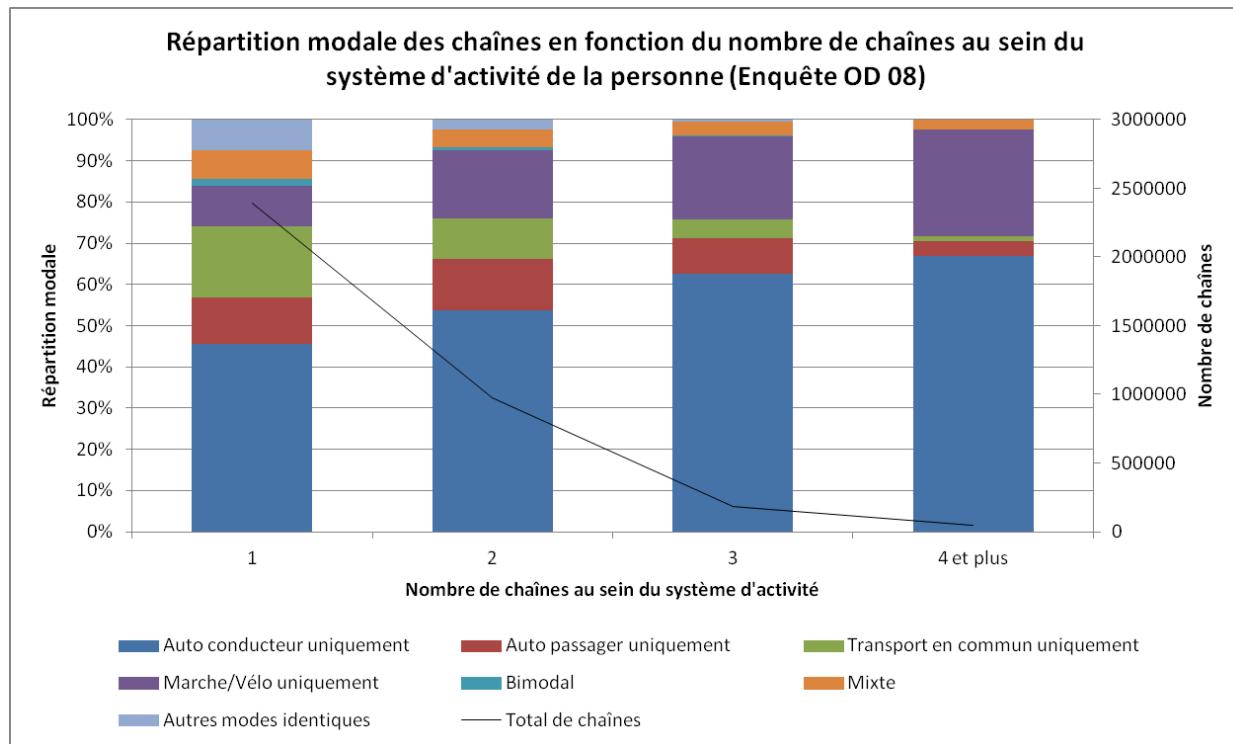


Figure 3.24 Répartition modale des chaînes en fonction du nombre de chaînes

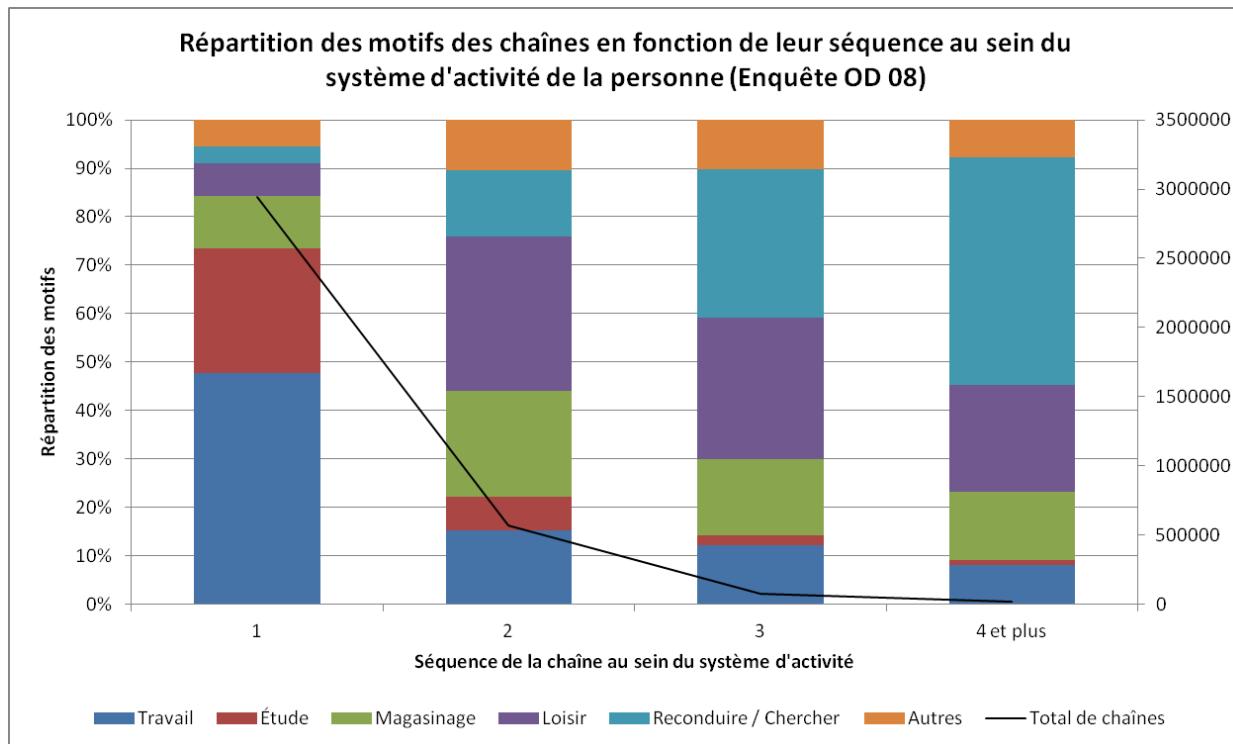


Figure 3.25 Répartition des motifs des chaînes en fonction de leur séquence au sein du système d'activité

### 3.3.4.4 Distance totale

La Figure 3.26 présente la répartition modale des chaînes selon leur distance totale à vol d'oiseau. On y observe d'abord que la part modale de l'« automobile conducteur uniquement » augmente avec l'augmentation de la distance totale de la chaîne. Ensuite, la part modale de la « marche/vélo uniquement » n'est significative que pour les chaînes de petite distance alors que celle du transport en commun et du bimodal ne le devient qu'à partir d'une certaine distance. Effectivement, le « transport en commun uniquement » n'est pas un mode populaire pour les chaînes de moins de 2 km alors que le bimodal n'est pas un mode réellement considéré pour les chaînes de moins de 18 km, distance à partir de laquelle la part modale du bimodal tend à augmenter.

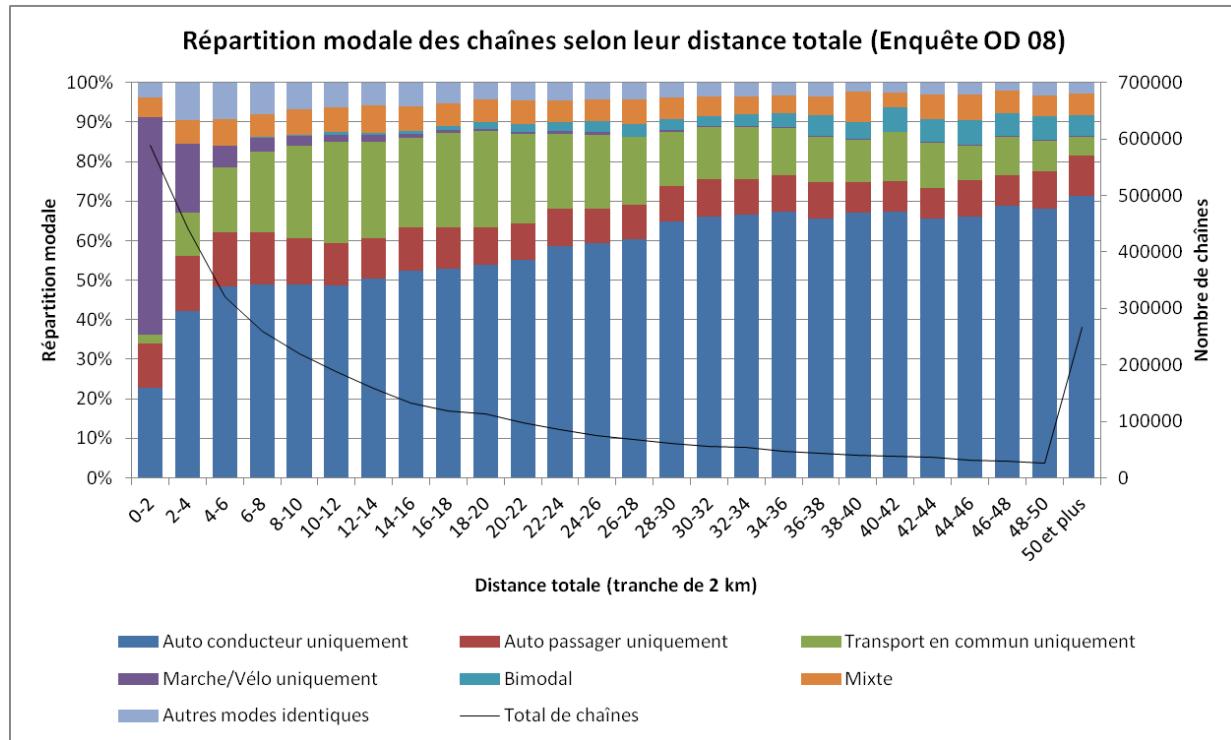


Figure 3.26 Répartition modale des chaînes selon leur distance totale à vol d'oiseau

### 3.3.4.5 Durée totale

À partir de la Figure 3.27, on observe la répartition modale des chaînes en fonction de leur durée totale. D'abord, on remarque que la part modale de l'automobile conducteur est relativement stable peu importe la durée de la chaîne, à l'exception des chaînes d'une durée de 6 h à 9 h pour lesquelles la part modale d'autres modes identiques est plus importante. En analysant les motifs des chaînes en fonction de leur durée totale (voir Annexe A), on remarque que l'activité la plus importante correspondant à cette durée est le motif « étude ». Ainsi, le bus scolaire a de fortes chances de représenter cet autre mode identique. Cette figure nous permet également d'observer que la part modale de la « marche/vélo uniquement » tend à diminuer avec l'augmentation de la durée de la chaîne, principalement lorsqu'elle est supérieure à 8 h, alors que celle du « transport en commun uniquement » et des modes mixtes tend à augmenter. On retrouve la proportion la plus importante de chaînes effectuées à partir des modes actifs pour celles d'une durée de 1h30 et moins. Autrement dit, en plus d'être utilisé pour des courtes distances, les modes actifs sont utilisés pour des activités courtes.

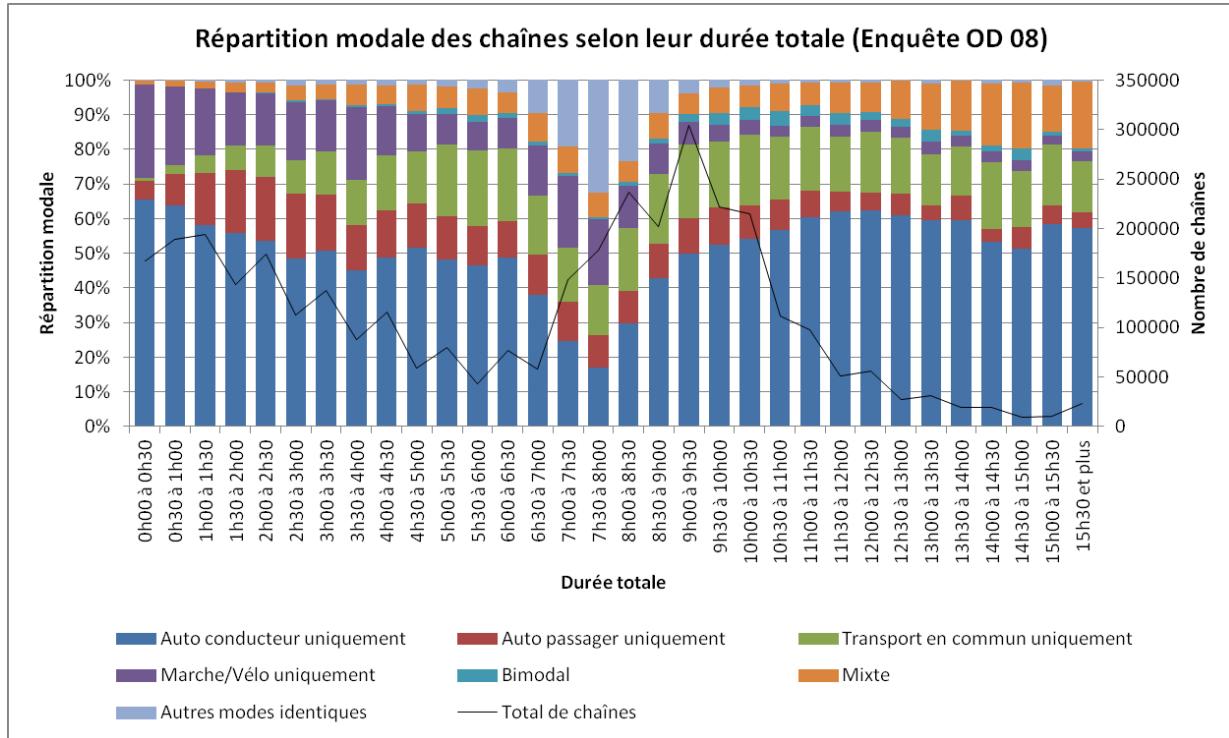


Figure 3.27 Répartition modale des chaînes selon leur durée totale

### 3.3.4.6 Type de chaîne

#### 3.3.4.6.1 *Tous motifs confondus*

La Figure 3.28 nous permet d'observer la répartition modale des chaînes en fonction du type de chaîne. On remarque d'abord l'importante proportion de chaînes simples, principalement celles effectuées à partir d'un mode unique. En étudiant de plus près la part modale pour chacune des catégories de chaîne, l'automobile conducteur est toujours le mode le plus utilisé. Il est tout de même intéressant de constater que pour les chaînes simples, le transport en commun et la marche/vélo sont également des modes ayant une part modale importante. Néanmoins, à partir du moment où la chaîne est complexe, la part modale de l'automobile conducteur augmente significativement alors que celle du transport en commun et de la marche/vélo diminue drastiquement, davantage lorsque la chaîne complexe est multi-boucle.

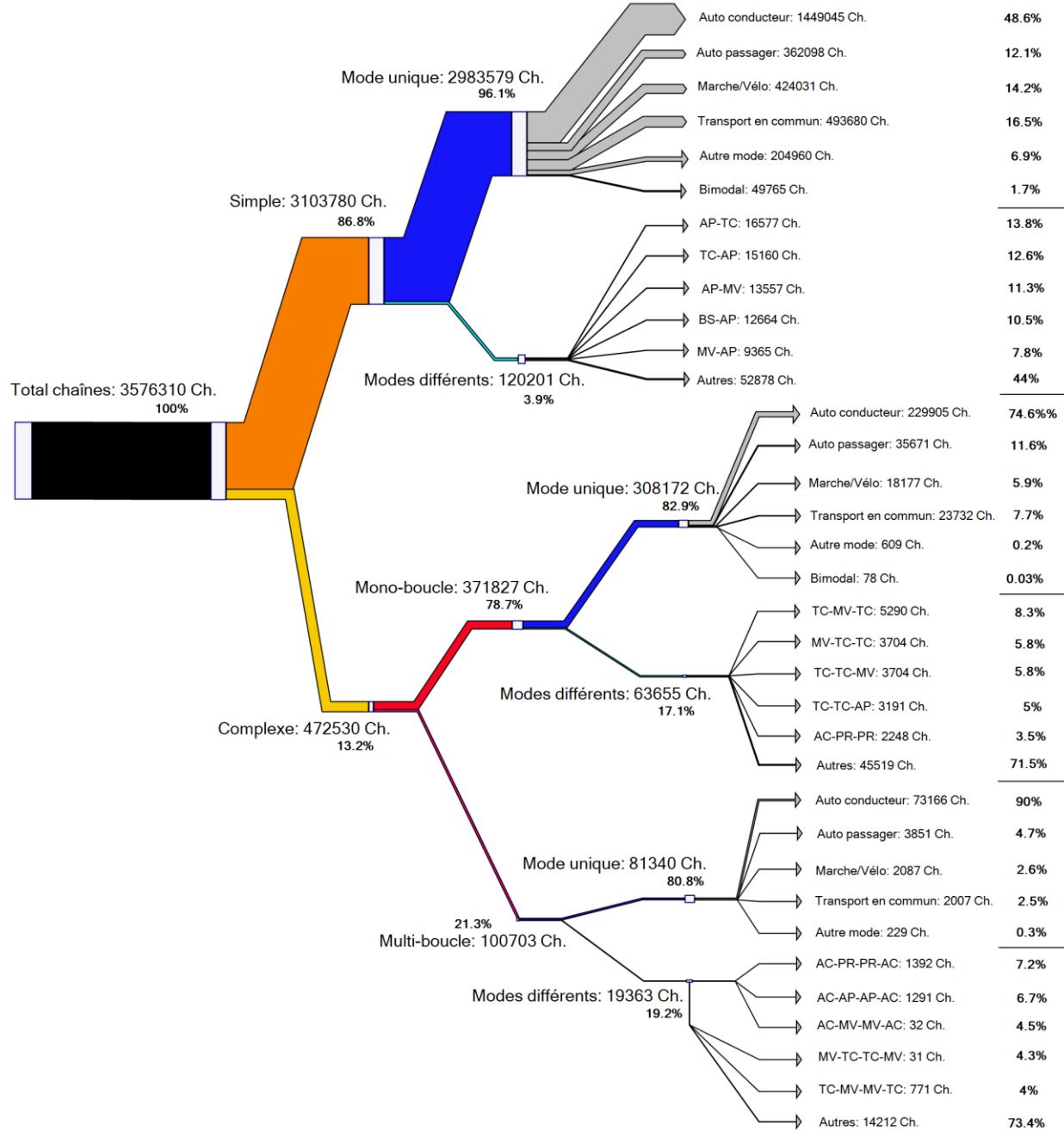


Figure 3.28 Répartition modale des chaînes selon le type, tous motifs confondus

#### 3.3.4.6.2 Motif travail

La Figure 3.29 permet d'observer que la chaîne simple est encore ici le type le plus fréquent. Les différents types de chaînes effectuées pour le motif « travail », lorsque fait avec un mode unique, le sont tous par l'automobile conducteur, et de loin. Ensuite, les transports en commun semblent presque toujours la deuxième option préférée, à l'exception des chaînes complexes multi-boucle,

où elle est presque ex aequo avec les modes actifs. Les modes actifs semblent effectivement une option intéressante pour compétier une chaîne complexe multi-boucle en raison de la flexibilité qu'ils offrent de l'horaire et du parcours.

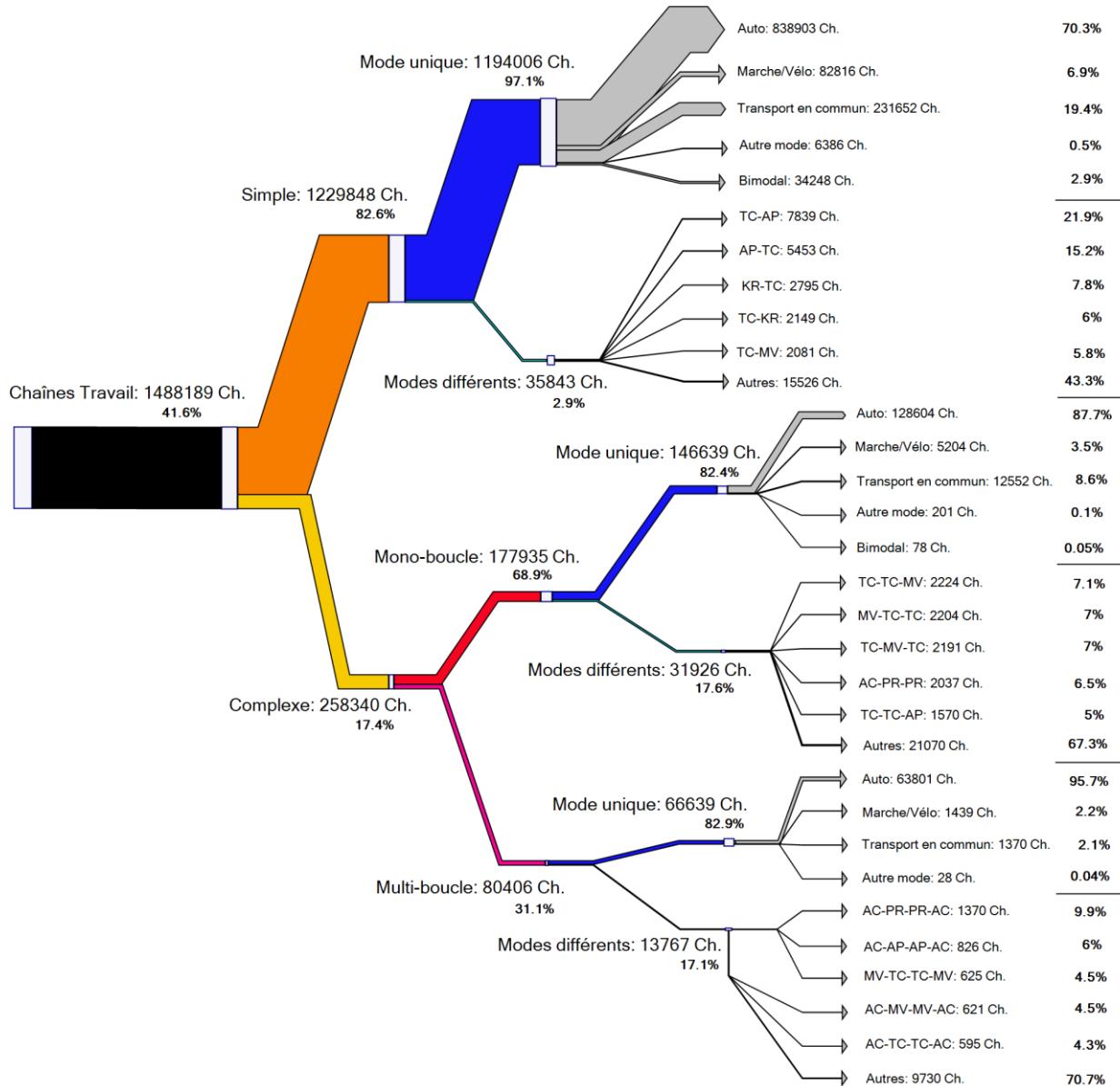
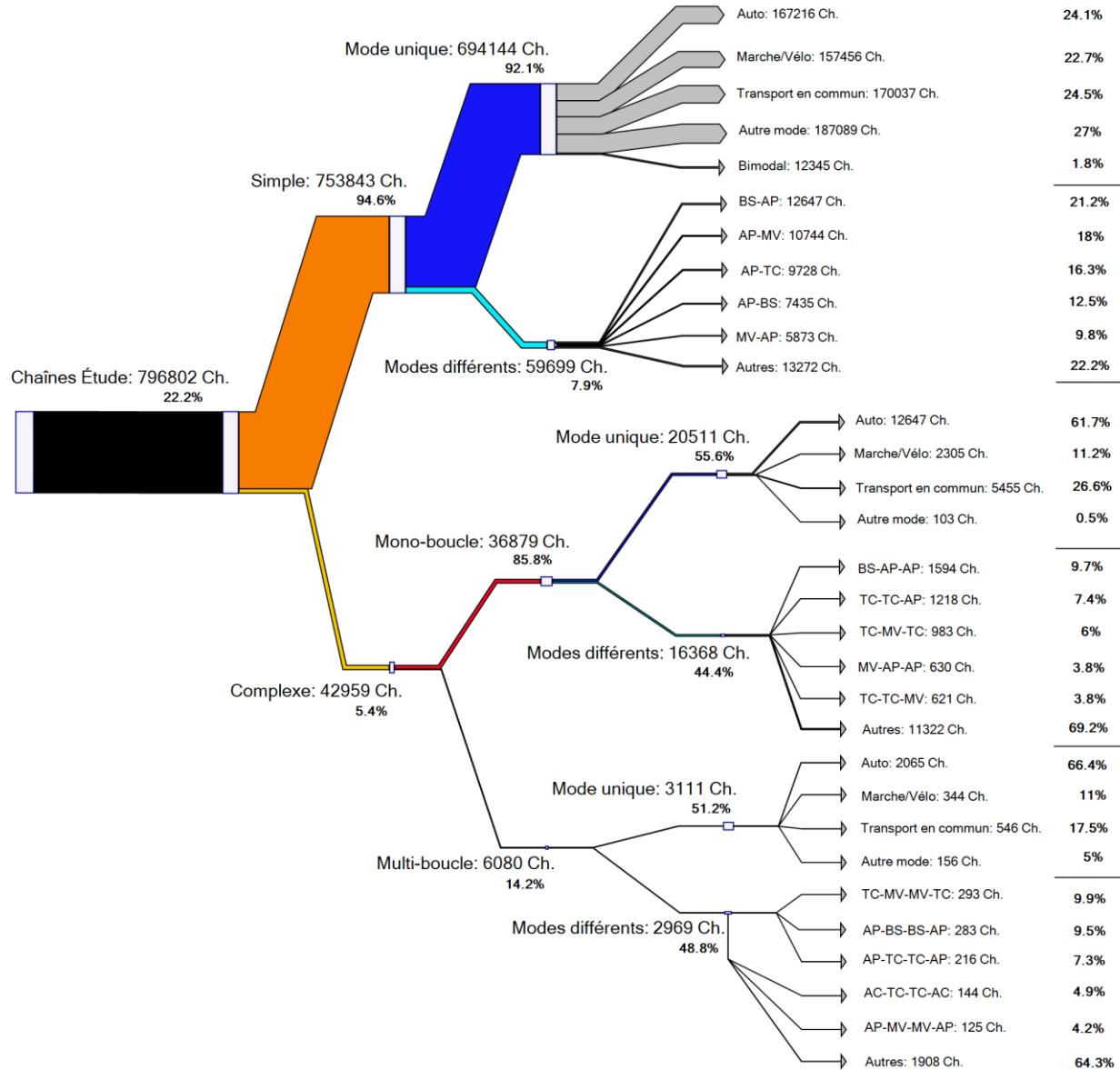


Figure 3.29 Répartition modale des chaînes selon le type, motif « travail »

### 3.3.4.6.3 Motifs étude

Pour continuer dans la tendance observée à travers les arbres précédents, la chaîne simple est ici aussi le type le plus fréquent du motif « étude », observé à la Figure 3.30. Par contre, la part modale des différents modes pour ce type de chaîne est distribuée assez uniformément à travers les alternatives, à l'exception des séquences bimodales. Effectivement, les modes autres sont les plus utilisés pour la chaîne simple, ce qui nous porte à croire qu'il s'agit ici de l'autobus scolaire. D'ailleurs, ce mode fait toujours partie des modes utilisés lorsqu'une séquence de modes différents est utilisée pour compléter une chaîne. Les chaînes complexes mono-boucle et multi-boucle démontrent une forte utilisation de l'automobile par rapport aux autres modes, mais on dénote une plus grande part pour les transports en commun et actifs que pour le motif « travail ».



### 3.3.4.6.4 Motif magasinage

Le motif « magasinage », observé à la Figure 3.31, ne fait pas exception à la règle, c'est-à-dire que le type de chaîne le plus fréquent demeure la chaîne simple. Bien que pour ce type de chaîne, l'automobile est l'alternative modale la plus utilisée, les transports actifs possèdent la deuxième part modale la plus élevée, et de loin par rapport au transport en commun. Pour ce qui est des chaînes complexes, la part modale des modes actifs est ici aussi plus élevée que celle des transports en commun, néanmoins la part de l'automobile prend beaucoup plus d'importance,

principalement pour les chaînes complexes multi-boucle, presque exclusivement effectuées en voiture. Il est important de préciser que dans les chaînes complexes de motif « travail », il peut y avoir une activité de magasinage, mais celles-ci ne sont pas incluses ici, car on retrouve exclusivement les chaînes dont le motif principal est « magasinage ».

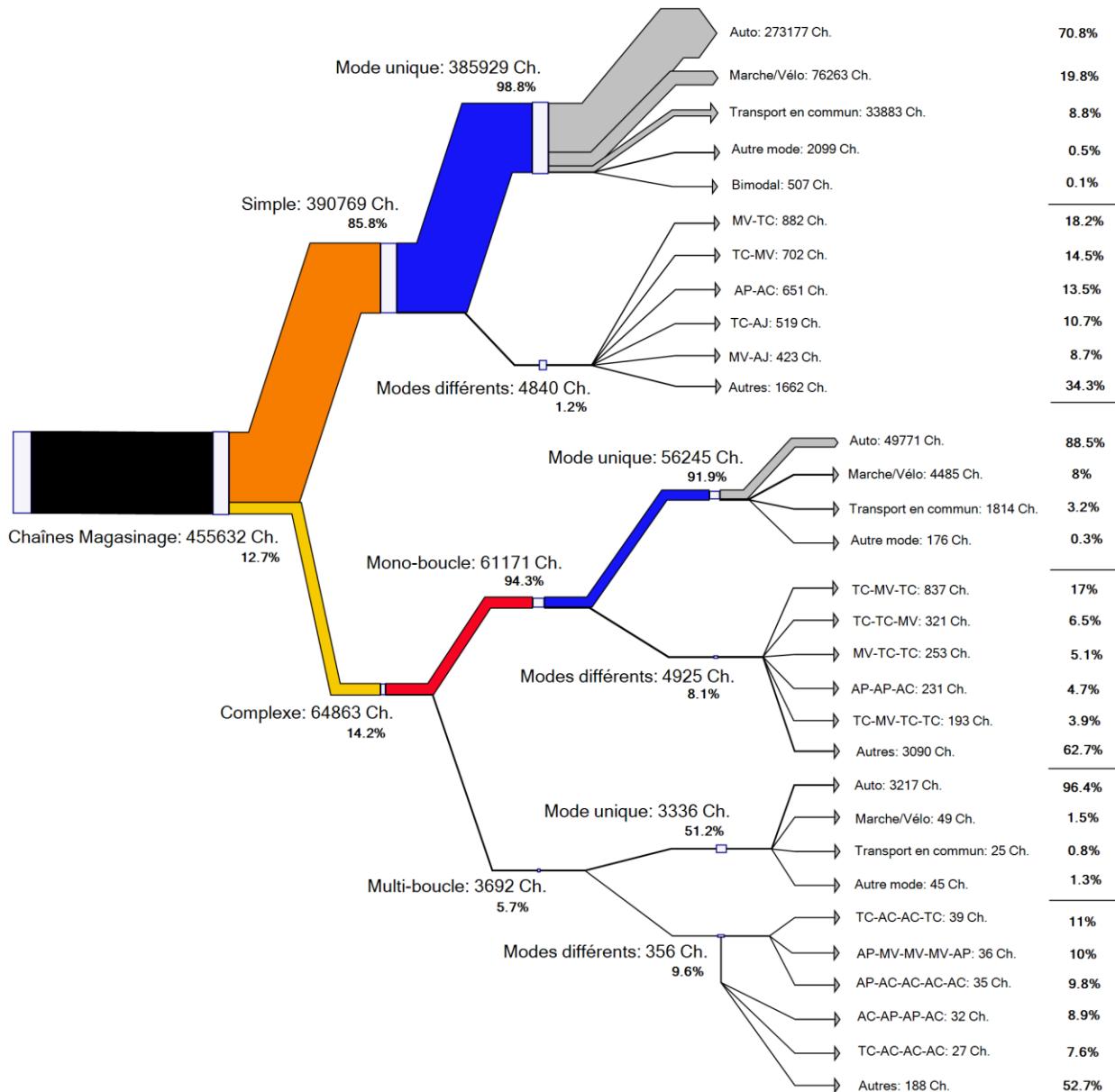


Figure 3.31 Répartition modale des chaînes selon le type, motif magasinage

### 3.4 Cadre conceptuel

Afin d'intégrer les chaînes de déplacements au sein des modèles de choix et transfert modal, il est important de d'abord définir une typologie normalisée des différentes chaînes. L'objectif de cet exercice est ainsi d'être en mesure de détailler l'ensemble des choix de séquence de modes possibles pour chaque type de chaîne existante. Néanmoins, pour ce faire un exercice préalable est nécessaire, soit la définition des types de modes. La Figure 3.32 illustre où s'intègrent ces étapes au sein du schéma méthodologique global du projet de recherche.

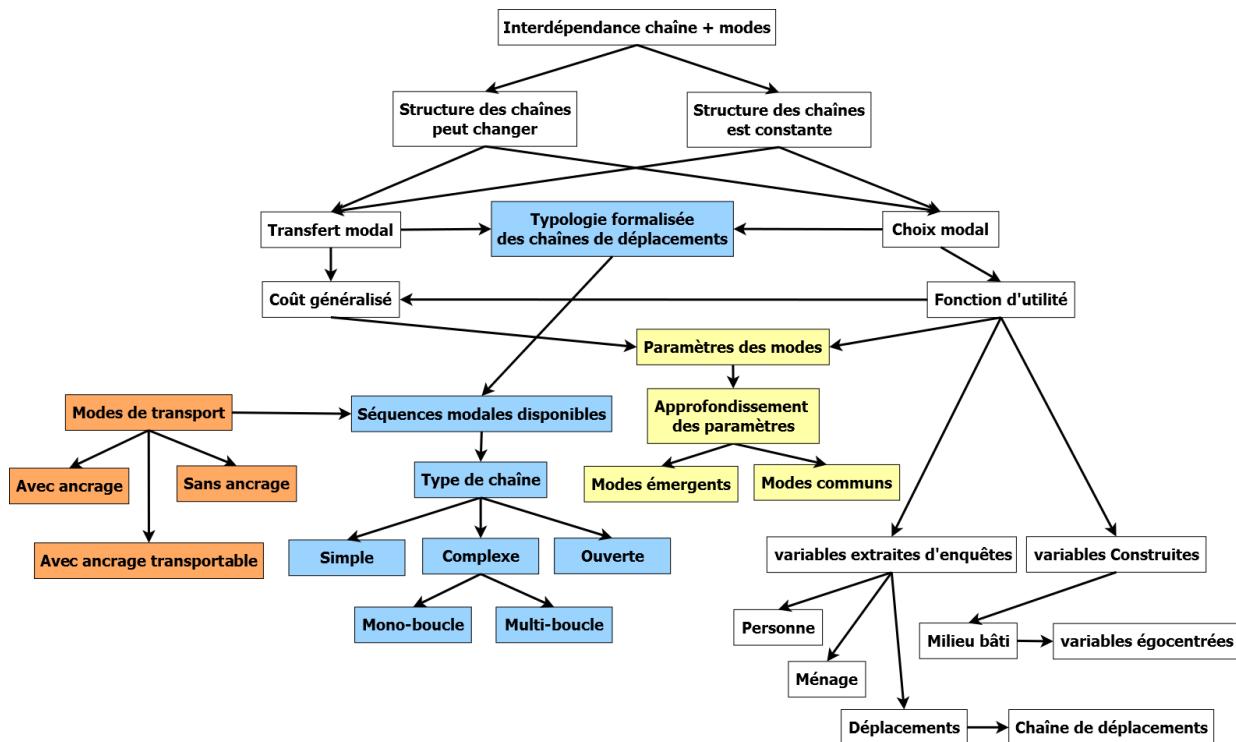


Figure 3.32 Position de la typologie formalisée des chaînes et des modes de transport au sein du schéma méthodologique global

### 3.4.1 Catégorisation des modes de transport

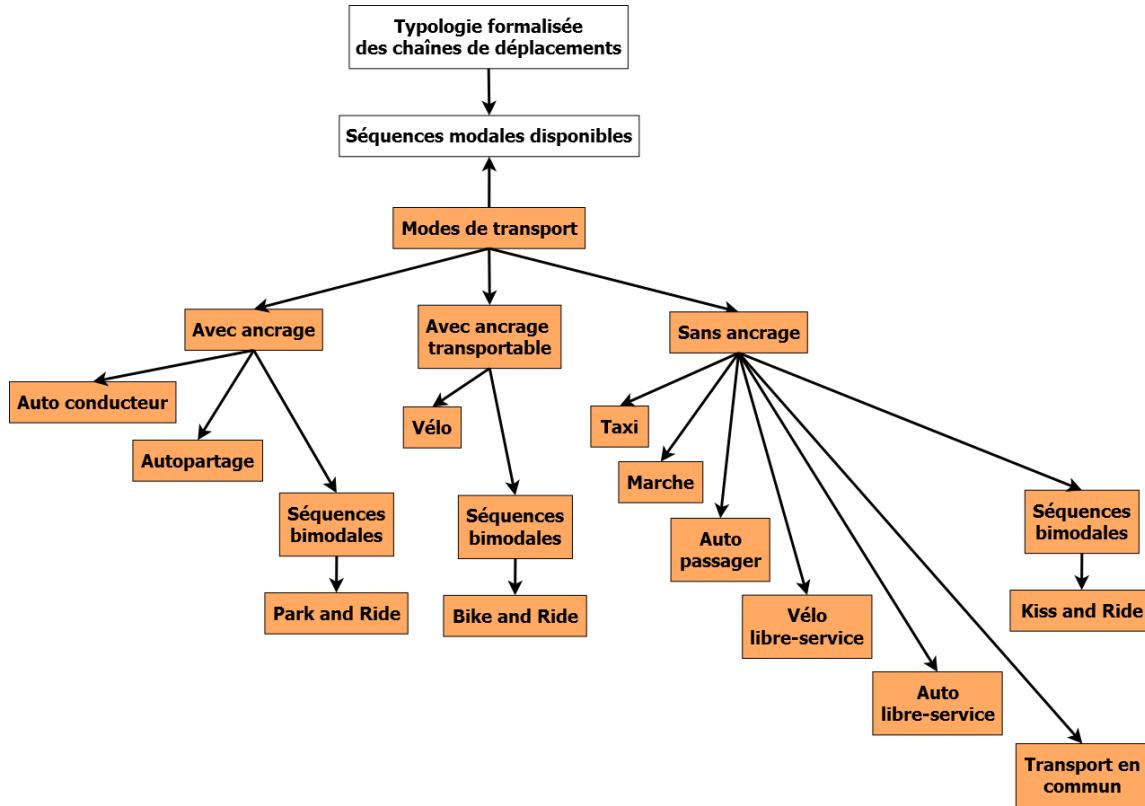


Figure 3.33 Position de la catégorisation des modes de transport par rapport à la création de la typologie formalisée des chaînes

La catégorisation des modes de transport est un exercice important lorsque nous souhaitons modéliser le choix des individus en prenant en compte la structure complète de la chaîne, car chaque mode a des caractéristiques différentes, que ce soit le coût, la vitesse, la transportabilité et l'obligation de récupérer le mode à son point d'ancrage. La transportabilité d'un mode est définie par la possibilité de transporter ce mode à partir d'un autre mode. L'obligation de récupérer le mode à son point d'ancrage implique que son usager devra revenir à l'endroit où a été stationné ce mode et l'utiliser pour ses déplacements suivants afin d'assurer sa disponibilité jusqu'à la fin d'une boucle. Rappelons que dans le cadre d'une chaîne de déplacements, un point d'ancrage est défini comme étant le lieu où débute et se termine une boucle. Le point d'ancrage d'un mode correspond plutôt au lieu où est stationné un mode « avec ancrage » lorsqu'il n'est pas utilisé par l'usager. Les concepts de point d'ancrage de la chaîne et point d'ancrage d'un mode sont interreliés, car le point d'ancrage d'un mode a le potentiel de devenir le point d'ancrage d'une

chaîne si l'individu stationne son mode « avec ancrage » à une destination, fait ses déplacements suivants à partir d'un autre mode et revient récupérer son mode « avec ancrage » avant de compléter sa chaîne. Lorsqu'un mode « avec ancrage » est stationné ailleurs qu'à un lieu d'activité de la chaîne, celui-ci devient alors un point d'ancrage intermédiaire de la chaîne, car ce lieu devient un endroit d'où débute et se termine une boucle. Ce concept prévaut notamment lors d'une séquence bimodale, tel que le *Park and Ride*, alors que la station de transport en commun où est stationnée la voiture devient un point d'ancrage intermédiaire, où devra nécessairement revenir l'usager afin de récupérer sa voiture et l'amener jusqu'à l'endroit où se complète la boucle de la chaîne.

Cette obligation de récupérer le mode à un point d'ancrage agit comme une contrainte sur le ou les modes qui seront choisis au courant d'une chaîne de déplacements. Par exemple, si une personne prend sa voiture pour se rendre au travail dans le cadre d'une chaîne simple, il n'aura d'autre choix que de la reprendre pour la suite de sa chaîne de déplacements et ainsi revenir vers son domicile, sinon elle ne pourra la reprendre lors de sa prochaine chaîne pour effectuer ses déplacements. Néanmoins, si pour la même chaîne une personne se rend au travail en transport en commun, elle se trouve à avoir un plus grand éventail de modes disponibles pour effectuer son déplacement de retour au domicile, car elle n'est pas contrainte à devoir récupérer un véhicule au point d'ancrage.

Il est ainsi primordial de considérer que certains modes ne peuvent être abandonnés durant la chaîne et nécessitent donc d'être réutilisés pour un ou plusieurs des déplacements suivants, jusqu'à ce que la boucle se complète à un point d'ancrage de la chaîne. C'est ainsi à partir de cette caractéristique que deux catégories principales de modes de transport sont définies (voir Figure 3.34) : les modes « avec ancrage » et les modes « sans ancrage ». Une troisième catégorie prend en compte la flexibilité accordée à un mode avec ancrage en raison de sa transportabilité. Cet exercice de catégorisation est d'autant plus important dans le cadre d'un modèle de choix modal, car la probabilité qu'un déplacement se fasse à l'aide d'un certain mode doit tenir compte de la catégorie de mode des déplacements précédents de la chaîne. Effectivement si le mode utilisé pour le premier déplacement de la chaîne se fait à partir d'un mode avec ancrage, il est peu probable que l'ensemble des déplacements suivants se fasse à l'aide d'un autre mode à moins d'une chaîne multi-boucle.

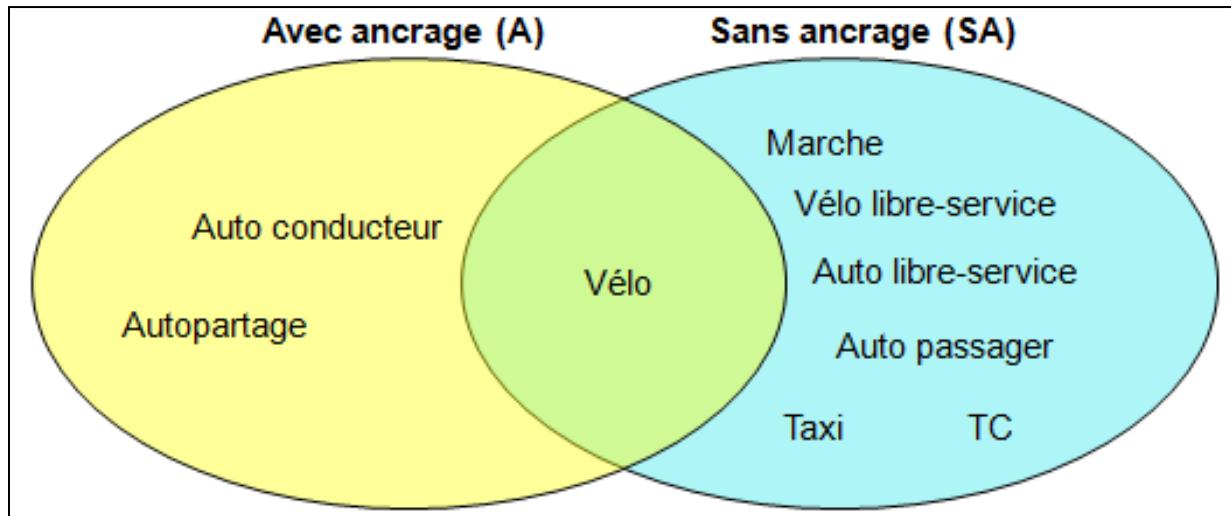


Figure 3.34 Catégories des modes de transport

### 3.4.1.1 Les modes avec ancrage

Les modes « avec ancrage » sont ceux qui doivent absolument être récupérés à un point d'ancrage de la chaîne et ramenés jusqu'à la fin de la boucle, sinon ils ne seront pas disponibles pour les déplacements de la prochaine chaîne ou boucle. Ainsi, suite à un déplacement, ces modes ne peuvent être abandonnés à l'endroit où une activité est effectuée. Toutes les destinations atteintes à partir d'un mode « avec ancrage » deviennent alors des points d'ancrage de ce mode.

#### 3.4.1.1.1 Automobile conducteur

L'automobile conducteur est considérée comme un mode « avec ancrage » étant donné qu'il est nécessaire de la récupérer au point d'ancrage où elle est stationnée si un individu souhaite l'utiliser pour sa prochaine chaîne ou boucle. Également, ce n'est pas un mode qu'il est possible de transporter à partir d'un autre mode de transport. Par exemple, si une personne se rend au travail en voiture, elle n'aura pas la liberté de revenir le soir en transport en commun, car si elle le fait, elle n'aura pas accès à sa voiture le lendemain pour ses déplacements.

Étant donné que la moto comporte des caractéristiques généralement très semblables à celle de l'automobile conducteur, ces deux modes seront considérés comme un seul.

### 3.4.1.1.2 *Autopartage*

Il existe plusieurs types d'autopartage. Il y a effectivement l'autopartage entre particuliers, pratiqué dans la sphère du privé. Également, il existe des services d'autopartage organisés. À Montréal le service est connu sous le nom de Communauto. L'autopartage est considéré comme un mode « avec ancrage », car de manière générale son fonctionnement stipule que l'usager doit absolument ramener le véhicule emprunté au même stationnement d'où il est parti, à moins d'une entente avec le propriétaire dans le cadre de l'autopartage entre particuliers. Ainsi, tout comme l'automobile conducteur, ce mode est considéré « avec ancrage », car il nécessite de revenir où le véhicule est stationné afin de le récupérer et le ramener vers un point d'ancrage intermédiaire de la chaîne de déplacement, soit le stationnement initial. Dans le cas d'une utilisation longue durée de l'autopartage, où plusieurs chaînes sont effectuées, un point d'ancrage intermédiaire ne sera utilisé que pour la première et dernière chaîne effectuée à partir de ce mode. Autrement, les points d'ancrage seront ceux normalement observés lors d'une chaîne qui débute et se termine au domicile.

### 3.4.1.2 **Les modes sans ancrage**

Les modes « sans ancrage » sont ceux qui n'impliquent aucune obligation de récupérer le véhicule afin de l'amener où se complète la boucle. Ainsi, ces modes offrent plus de liberté pour les déplacements suivants de la chaîne, car l'utilisation d'un mode « sans ancrage » pour le premier déplacement de la chaîne ne devient pas une contrainte. Les modes « sans ancrage » peuvent tous se compléter lors d'une chaîne de déplacements.

#### 3.4.1.2.1 *Marche*

La marche est le mode « sans ancrage » par excellence, car il n'implique pas de véhicule. Ainsi, il offre toute la liberté à l'usager de choisir un mode différent pour les déplacements suivants de sa chaîne.

Notons que depuis les dernières années, avec la popularité grandissante de la course à pieds en tant que loisir et sport de mise en forme, ce mode encore un peu timide est apparu au sein de notre cocktail de transport. Il a lui aussi l'avantage de ne pas être contraignant, si ce n'est que de la nécessité d'avoir accès à une douche une fois rendu à destination. Étant donné des caractéristiques pratiquement identiques à celle de la marche, ils seront considérés comme un seul mode.

#### *3.4.1.2.2 Vélo libre-service*

Le vélo libre-service, connu à Montréal sous le nom de Bixi, est un mode « sans ancrage », car il n'est pas nécessaire de ramener le vélo à une station fixe. Ainsi, il est possible de l'utiliser que pour un seul déplacement sur l'ensemble de la chaîne, sans avoir à le traîner jusqu'à la fin de la boucle. Néanmoins, malgré la souplesse de ce mode de transport, la liberté qu'il offre à l'usager est dans la mesure où une station est disponible à proximité de la destination de l'usager.

#### *3.4.1.2.3 Voiture libre-service*

La voiture libre-service, connue à Montréal sous le nom de Car2Go et Auto-mobile, est un mode « sans ancrage », car une fois l'utilisation terminée, il n'est pas nécessaire de ramener le véhicule à une station particulière. Effectivement, les utilisateurs doivent plutôt rendre la voiture dans les zones ou espaces désignés. Ainsi, bien que ce mode s'adresse principalement à ceux qui vivent à proximité d'une zone ou espace de stationnement désigné, ce mode n'est pas contraignant, car il n'est pas nécessaire de l'utiliser jusqu'à la fin de la boucle ou de le ramener au stationnement initial, comme c'est le cas avec le système d'auto-partage avec station offert par Communauto.

#### *3.4.1.2.4 Transport en commun*

Le transport en commun est un mode « sans ancrage » étant donné qu'il laisse lui aussi toute la liberté à l'usager de l'utiliser ou non pour les déplacements suivants de sa chaîne. Effectivement, l'usager n'a pas la contrainte de devoir compléter sa boucle à partir du trajet qu'il a pris pour l'aller. Tout comme pour le vélo libre-service, cette liberté est d'usage seulement dans la mesure où un service de transport en commun est disponible près de l'origine et de la destination.

#### *3.4.1.2.5 Taxi*

Le taxi est considéré comme un mode « sans ancrage » étant donné que l'usager quitte le véhicule une fois rendu à destination sans avoir à se soucier de devoir reprendre exactement le même véhicule pour le déplacement suivant. Ce mode de transport, très flexible pour qui accepte d'en payer le prix, n'impose pas de restriction à l'usager tel que la disponibilité de stationnement ou même la possession d'un permis de conduire. Une fois à destination du déplacement, l'usager a toute la liberté d'utiliser un autre mode de transport pour le reste de sa chaîne.

#### 3.4.1.2.6 *Automobile passager*

Tout comme le taxi, l'automobile passager est un mode « sans ancrage » qui offre une très grande flexibilité au niveau du trajet possible et ne nécessite généralement pas de paiement formel. Une fois à destination, l'individu n'a pas l'obligation de revenir avec le conducteur ou de compléter sa boucle avec ce véhicule et aura donc la liberté de choisir un autre mode pour la suite de sa chaîne de déplacements. Notons que l'autobus scolaire, qui est évidemment un mode de transport d'importance auprès des jeunes étudiants, est considéré comme l'automobile passager en raison des caractéristiques semblables entre les deux modes au niveau de l'ancrage.

#### 3.4.1.3 **Les modes avec ancrage transportable**

Cette catégorie est plutôt particulière, car elle intègre les modes qui peuvent être considérés comme étant avec ou sans ancrage selon le contexte. Effectivement, certains modes présentent les caractéristiques d'un mode « avec ancrage », mais permettent également d'être transportés à partir d'un autre mode de transport, en déployant un certain effort. Cette caractéristique laisse donc une certaine liberté au niveau du choix du mode à l'individu, mais celui-ci se voit tout de même contraint à transporter ce mode lors des déplacements de la chaîne s'il veut pouvoir l'amener jusqu'à la fin de sa boucle. Néanmoins, cette caractéristique n'est pas toujours valable. Des facteurs tels que la période du déplacement au sein du service de transport en commun ou la grosseur du véhicule permettant le transport du mode dont il est question peuvent contraindre la transportabilité du mode.

##### 3.4.1.3.1 *Vélo*

Le vélo possède la caractéristique de pouvoir être transporté à l'aide d'autres modes de transport. Par exemple, un individu peut se rendre au travail un matin à l'aide de son vélo et pour une raison quelconque, par exemple une mauvaise météo, il lui est possible de revenir en transport en commun tout en transportant son vélo. Il aurait également pu être transporté à bord d'un autre véhicule, tel que l'auto, le taxi, l'autopartage, etc.

Des modes dont l'utilisation est plus rare possèdent les mêmes caractéristiques que le vélo, c'est-à-dire une très grande portabilité qui fait d'eux des modes peu contraignants malgré qu'on souhaite les ramener jusqu'à la fin de la boucle. Parmi ces modes, on retrouve la trottinette, les patins à roues alignées et la planche à roulettes.

### 3.4.1.4 Les séquences bimodales

Les séquences bimodales sont constituées des différents segments d'un même déplacement effectués à l'aide de modes différents. Ces séquences bimodales sont catégorisées selon leur nécessité d'un retour de l'usager vers un point d'ancrage de la chaîne, à la seule différence que dans ce cas-ci, il s'agit d'un point d'ancrage intermédiaire (voir Figure 3.35). Rappelons qu'un point d'ancrage intermédiaire est un lieu d'où commence et se termine une boucle, sans pour autant être un lieu d'activité. Un stationnement incitatif de train de banlieue est un bon exemple, car un individu, qui y stationne sa voiture pour ensuite prendre le train, devra y revenir pour récupérer son véhicule, même si aucune activité n'a été complétée à cet endroit. Ainsi, même si le stationnement est un lieu relativement important pour l'individu en raison du fait qu'il y passe deux fois durant sa chaîne, il n'est tout de même pas considéré comme une destination. La catégorie de la séquence bimodale sera déterminée selon la présence d'un mode de transport « avec ancrage » au sein de la séquence.

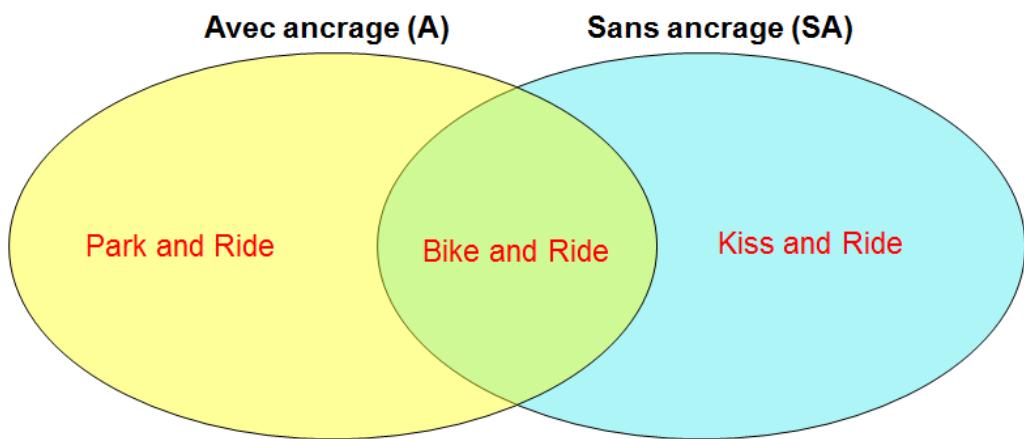


Figure 3.35 Catégories des séquences bimodales

#### 3.4.1.4.1 Park and Ride

Le *Park and Ride* est une séquence bimodale composée d'un segment en automobile conducteur et d'un autre en transport en commun. Étant donné la présence de l'automobile conducteur au sein de la séquence, celle-ci est considérée « avec ancrage », car même si l'individu retrouve une certaine liberté dans le choix de la station de transport en commun, une fois sa voiture stationnée, il lui est nécessaire de revenir à ce point d'ancrage intermédiaire afin de récupérer son véhicule.

#### 3.4.1.4.2 *Kiss and Ride*

Le *Kiss and Ride* est une séquence bimodale composée d'un segment en automobile passager et d'un autre en transport en commun. Étant donné qu'aucun des modes qui composent la séquence n'est un mode « avec ancrage », la séquence est considérée « sans ancrage ». En effet, l'usager n'a pas la responsabilité de la voiture une fois le véhicule quitté. Cette responsabilité appartient plutôt au conducteur du véhicule ayant reconduit l'usager à une station de transport en commun. La séquence bimodale du *Kiss and Ride* peut prendre deux formes différentes. La première est composée d'abord par le segment en automobile passager, suivi par le segment en transport en commun. La deuxième forme commence plutôt par le segment en transport en commun et termine par celui en automobile passager. Généralement, une chaîne qui présente deux séquences *Kiss and Ride* présentera la première forme d'abord et la seconde ensuite. Néanmoins, dans le cadre de la classification de la séquence cela n'a pas beaucoup d'importance.

#### 3.4.1.4.3 *Bike and Ride*

Le *Bike and Ride* est une séquence bimodale composée d'un segment en vélo et d'un autre en transport en commun. Étant donné que le vélo est un mode « avec ancrage transportable », la séquence est considérée « avec ancrage transportable ». Effectivement, l'usager qui se rend vers une station de transport en commun en vélo a le choix de stationner son véhicule ou de le transporter avec lui lorsque le règlement le permet.

### 3.4.2 Typologie des chaînes de déplacements

Le développement d'une typologie des chaînes de déplacements est l'un des exercices préalables à la modélisation les plus importants. Son objectif est de permettre d'énumérer les différentes alternatives pouvant être intégrées au sein du modèle de choix ou transfert modal tout en tenant compte de la contrainte liée au mode « avec ancrage ». La Figure 3.36 présente la position de cette démarche au sein de l'exercice d'établissement d'une typologie formalisée des chaînes de déplacements. Notons que les chaînes ouvertes ne font pas l'objet de cette démarche, car elles sont peu communes (0,61 %).

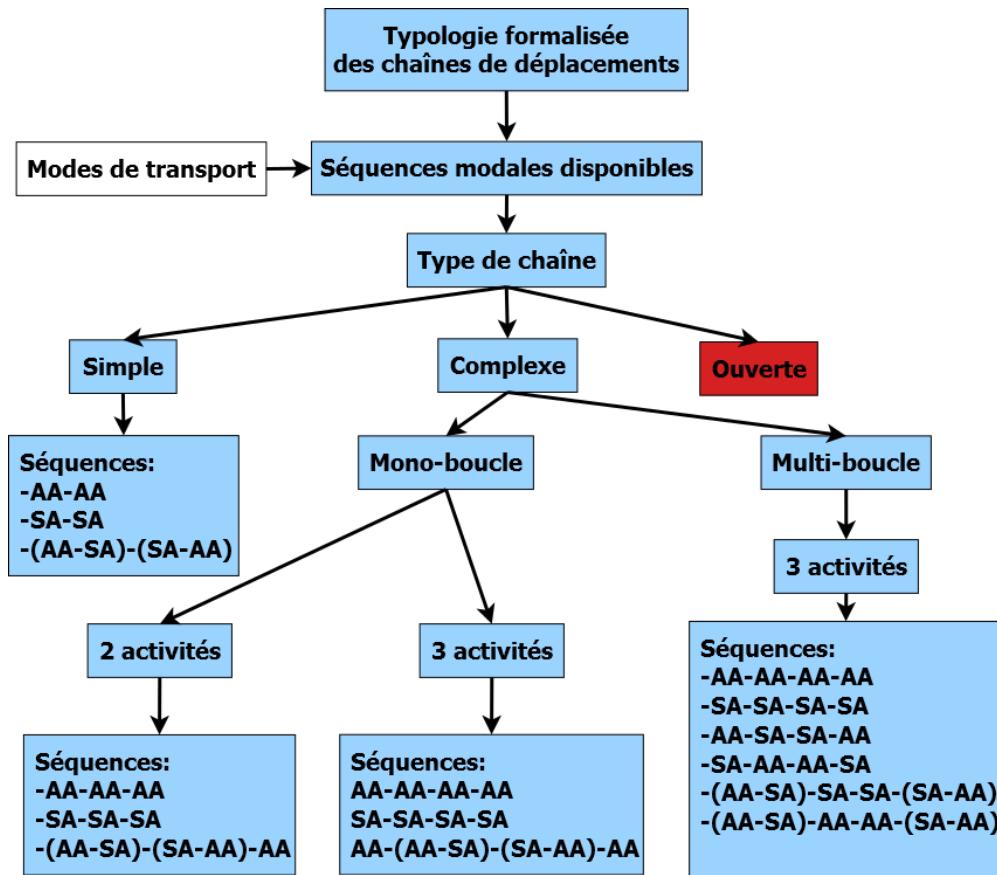


Figure 3.36 Position de l'élaboration de la typologie formalisée des chaînes de déplacements par rapport aux catégories de mode

La typologie présentée s'inspire fortement et se veut en quelque sorte une version simplifiée de celle développée par Valiquette (2010), c'est-à-dire qu'elle reprend les concepts de classification des chaînes selon leur complexité, soit le nombre d'activités, et leur nombre de boucles. Il est important de spécifier que l'ordre dans lequel les activités secondaires sont effectuées par rapport aux points d'ancre de la chaîne a une incidence importante sur le nombre d'alternatives possibles. Pour simplifier la compréhension de cet exercice, nous considérerons que lorsqu'une sous-boucle de la chaîne est créée, une seule activité secondaire y est effectuée.

À partir des données des chaînes de déplacements pour l'EOD 2008 de la GRM, seulement quatre types de chaînes comptent pour 97,85 % des chaînes produites par les usagers (voir Tableau 3.4). Dans le cadre de cette démonstration, ce ne sera que sur ces quatre différentes chaînes que sera appliquée la typologie normalisée qui permettra une énumération des alternatives disponibles.

Tableau 3.4 Les quatre types de chaînes de déplacements les plus fréquents (Enquête OD 08)

<b>Types de chaînes de déplacements</b>	<b>%</b>
Simple	86.24 %
Complex Mono-boucle avec 2 activités	8.42 %
Complexe Multi-boucle avec 3 activités	1.66 %
Complex Mono-boucle avec 3 activités	1.53 %
<b>Total des 4 premiers types de chaînes</b>	<b>97.85 %</b>

Afin d'énumérer les séquences modales disponibles pour chaque type de chaîne, il faut d'abord attribuer à la chaîne une séquence possible selon la catégorisation des modes « avec ancrage » et « sans ancrage ». Chaque déplacement (ou segment dans le cas des séquences bimodales) se voit donc attribuer une catégorie de mode en prenant en considération celle du déplacement précédent lorsqu'il y a lieu (SA : sans ancrage, AA : avec ancrage). Notons que pour faciliter l'exercice, seules les deux catégories principales de modes sont considérées. Ainsi, les modes « avec ancrage transportables » sont considérés comme étant simplement « avec ancrage ». L'importance de les avoir classés dans une catégorie à part précédemment repose plutôt sur l'idée de souligner leur différence pour les besoins d'un exercice plus détaillé. De cette manière, les modes « avec ancrage » et « sans ancrage » comportent trois et six modes respectivement.

Afin de bien représenter les séquences bimodales *Park and Ride* et *Bike and Ride* au sein des alternatives disponibles, le concept de point d'ancrage intermédiaire (PI) de la chaîne sera intégré. Dans ce cas-ci également nous considérerons que lorsqu'une sous-boucle est créée à partir d'un PI, une seule activité est effectuée au sein de la sous-boucle afin de simplifier les formes de chaîne possibles. Néanmoins, nous ferons la démonstration d'un exemple au sein d'une chaîne complexe mono-boucle à 2 activités (voir Figure 3.44) de l'impact de l'ordre dans lequel les activités sont effectuées par rapport au PI sur le nombre d'alternatives possibles.

La séquence *Kiss and Ride* ne nécessite pas de traitement particulier. Ainsi, dans le cadre de cet exercice d'énumération des alternatives disponibles pour une structure de chaîne particulière, les deux segments (flèches en rouge) faits à partir de deux modes « sans ancrage » différents seront considérés comme un déplacement (flèche en noir) effectué avec un mode sans ancrage (voir Figure 3.37). Cela porte maintenant cette catégorie à sept modes.

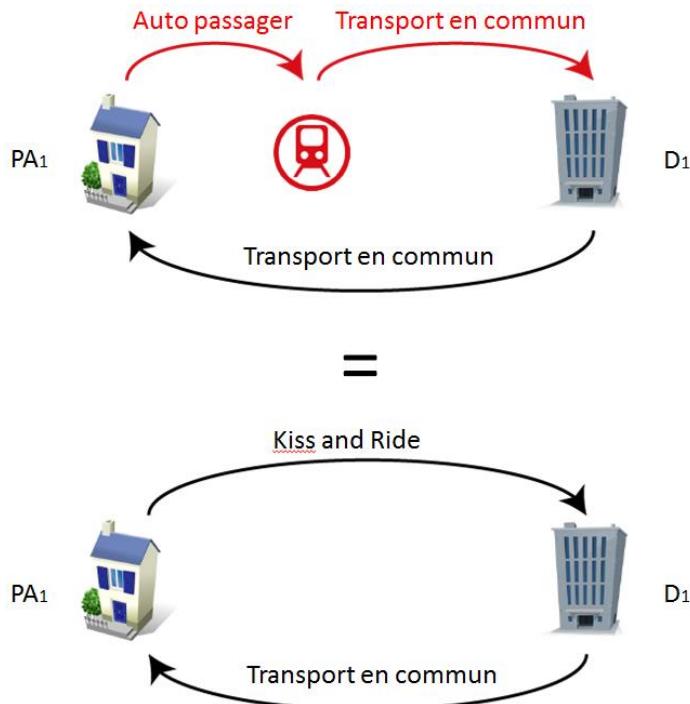


Figure 3.37 Transformation de la séquence bimodale *Kiss and Ride*

### 3.4.2.1 La chaîne simple

#### 3.4.2.1.1 Série de modes avec ancrage

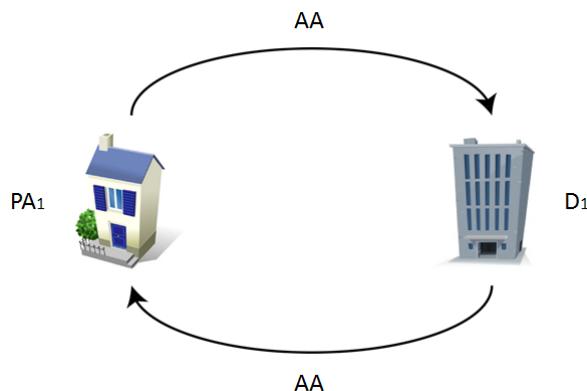


Figure 3.38 Forme de la chaîne simple pour les modes avec ancrage

Séquence : AA-AA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> (Point d'ancrage de la chaîne) - D<sub>1</sub> (Destination) - PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 3

Cette forme offre une possibilité de trois alternatives disponibles impliquant les modes « avec ancrage » si on ne considère pas les séquences bimodales. Étant donné l'obligation de revenir au point de départ de la boucle avec le même mode, on retrouve le même nombre de possibilités qu'il y a de modes dans cette catégorie. L'exemple le plus commun est : Automobile conducteur – Automobile conducteur.

#### 3.4.2.1.2 Série de modes sans ancrage

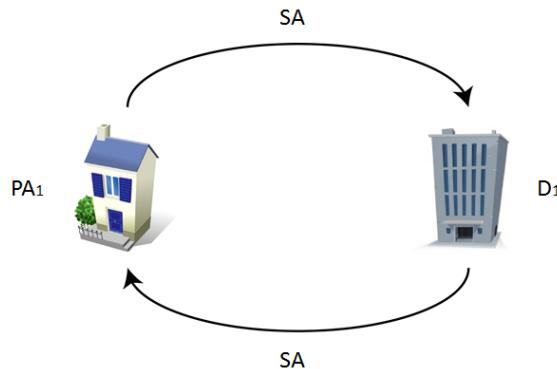


Figure 3.39 Forme de la chaîne simple pour les modes sans ancrage

Séquence : SA-SA

Forme de la chaîne :  $PA_1 - D_1 - PA_1$

Nombre d'alternatives possibles : 49

Étant donné qu'en intégrant la séquence bimodale *Kiss and Ride* au sein des alternatives « sans ancrage » pour un déplacement on en compte sept, cette forme permet 49 alternatives au niveau de la chaîne.

#### 3.4.2.1.3 Série de séquences bimodales avec ancrage

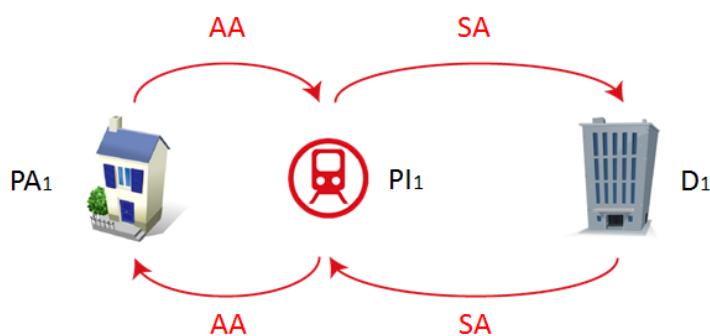


Figure 3.40 Forme de la chaîne simple pour les séquences bimodales avec ancrage

Séquence : (AA-SA)-(SA-AA)

Forme de la chaîne :  $PA_1 - PI_1 - D_1 - PI_1 - PA_1$

Nombre d'alternatives possibles : 2

Deux alternatives de séquences bimodales différentes sont possibles. En effet, étant donné le caractère « avec ancrage » des séquences, les alternatives correspondent ici aussi au nombre de séquences « avec ancrage » existant.

### 3.4.2.2 La chaîne complexe mono-boucle avec 2 activités

#### 3.4.2.2.1 Série de modes avec ancrage

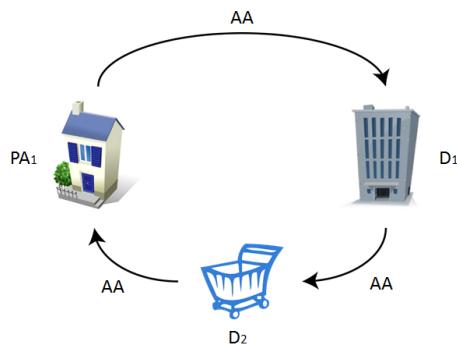


Figure 3.41 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les modes avec ancrage

Séquence : AA-AA-AA

Forme de la chaîne :  $PA_1 - D_1 - D_2 - PA_1$

Nombre d'alternatives possibles : 3

#### 3.4.2.2.2 Série de modes sans ancrage

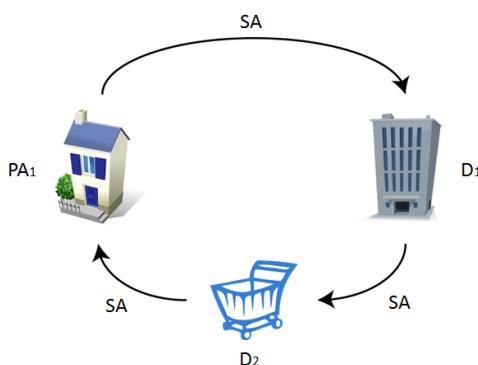


Figure 3.42 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les modes sans ancrage

Séquence : SA-SA-SA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 343

### 3.4.2.2.3 Séries de séquences bimodales avec ancrage et d'un mode avec ancrage

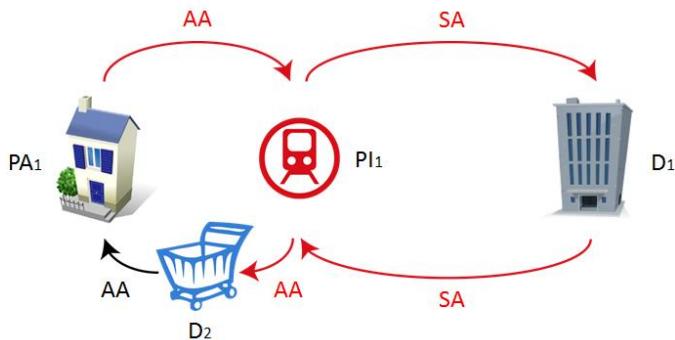


Figure 3.43 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les séquences bimodales avec ancrage

Séquence : (AA-SA)-(SA-AA)-AA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – D<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 2

On peut observer sur la Figure 3.43 que plus il y a d'activités, plus la forme se complexifie, particulièrement lorsqu'on y intègre un PI. Si l'activité effectuée à la destination D<sub>2</sub> avait été effectuée avant le retour au PI<sub>1</sub> et avait donc eu la forme PA<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PI<sub>1</sub> – PA<sub>1</sub>, telle que l'illustre la Figure 3.44, il y aurait plutôt eu 14 alternatives de combinaison de séquences bimodales avec ancrage et de mode sans ancrage pour faire la chaîne. En effet, si après le travail une personne décide d'aller au restaurant avant de revenir à la gare de train où elle a stationné sa voiture lors de son premier déplacement *Park and Ride*, le déplacement qu'elle fait entre le travail et le restaurant peut être fait avec n'importe quel mode « sans ancrage ».

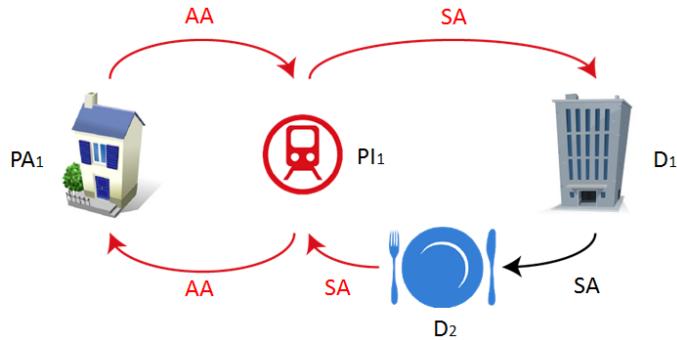


Figure 3.44 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 2 activités pour les séquences bimodales avec ancrage dont l'activité secondaire est avant le retour au PI

### 3.4.2.3 La chaîne complexe multi-boucle avec 3 activités

#### 3.4.2.3.1 Suite de modes avec ancrage

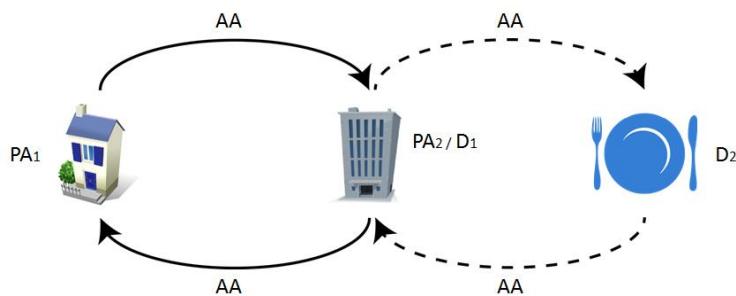


Figure 3.45 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes avec ancrage  
Séquence : AA-AA-AA-AA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 5

Parmi ces possibilités, le fait que l'autopartage puisse être utilisé pour la sous-boucle est considéré, même si un mode « avec ancrage » différent est utilisé pour la boucle principale.

### 3.4.2.3.2 Suite de modes sans ancrage

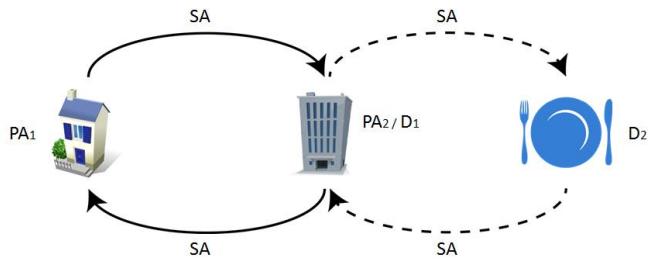


Figure 3.46 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes sans ancrage

Séquence : SA-SA-SA-SA

Forme de la chaîne :  $PA_1 - PA_2/D_1 - D_2 - PA_2/D_1 - PA_1$

Nombre d'alternatives possibles : 2 401

### 3.4.2.3.3 Suite de modes avec ancrage (boucle principale) et de modes sans ancrage (sous-boucle)

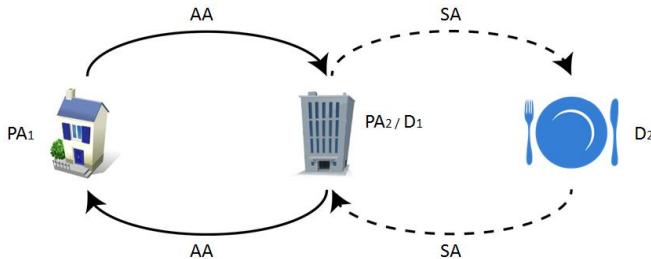


Figure 3.47 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes avec ancrage et sans ancrage pour la sous-boucle

Séquence : AA-SA-SA-AA

Forme de la chaîne :  $PA_1 - PA_2/D_1 - D_2 - PA_2/D_1 - PA_1$

Nombre d'alternatives possibles : 147

### 3.4.2.3.4 Suite de modes sans ancrage (boucle principale) et de modes avec ancrage (sous-boucle)

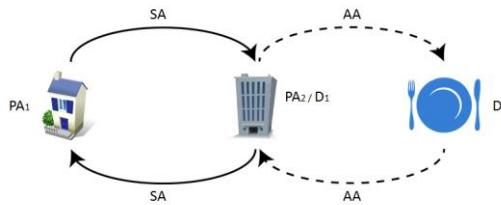


Figure 3.48 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les modes sans ancrage et avec ancrage pour la sous-boucle

Séquence : SA-AA-AA-SA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 49

Encore une fois les possibilités de combinaisons de modes pour lesquelles les déplacements de la sous-boucle sont effectués avec des modes « avec ancrage » alors que la boucle principale est faite à partir de mode sans ancrage, ne sont possibles que si la sous-boucle est faite en autopartage.

### 3.4.2.3.5 Suite de séquences bimodales avec ancrage (boucle principale) et de modes sans ancrage (sous-boucle)

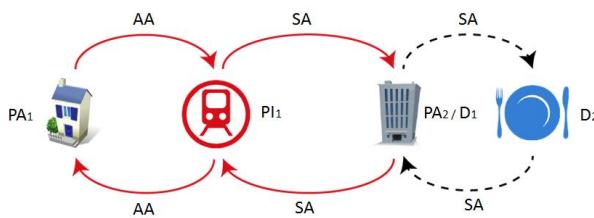


Figure 3.49 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales et les modes sans ancrage

Séquence : (AA-SA)-SA-SA-(SA-AA)

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 98

### 3.4.2.3.6 Suite de séquences bimodales avec ancrage (boucle principale) et de modes avec ancrage (sous-boucle)

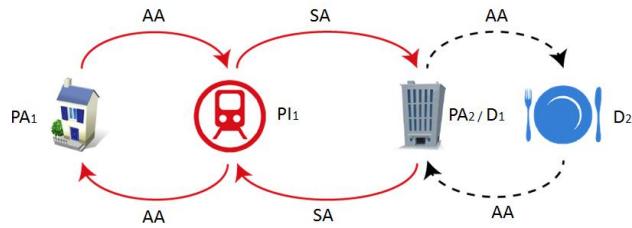


Figure 3.50 Forme de chaîne complexe multi-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales et les modes avec ancrage

Séquence : (AA-SA)-AA-AA-(SA-AA)

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PA<sub>2</sub>/D<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 2

L'utilisation de l'autopartage est ici aussi la seule façon pour une alternative de combiner une sous-boucle faite avec un mode avec ancrage à une boucle principale complétée à partir d'une séquence bimodale « avec ancrage ».

### 3.4.2.4 La chaîne complexe mono-boucle avec 3 activités

#### 3.4.2.4.1 Suite de modes avec ancrage

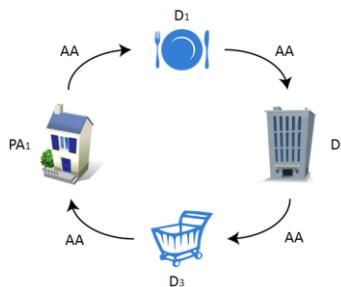


Figure 3.51 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 3 activités pour les modes avec ancrage

Séquence : AA-AA-AA-AA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – D<sub>3</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d'alternatives possibles : 3

#### 3.4.2.4.2 Suite de modes sans ancrage

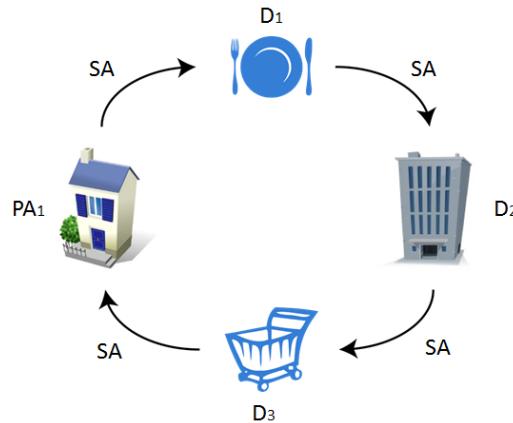


Figure 3.52 Forme de la chaîne mono-boucle à 3 activités pour les modes sans ancrage

Séquence : SA-SA-SA-SA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – D<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – D<sub>3</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d’alternatives possibles : 2 401

#### 3.4.2.4.3 Suite de modes avec ancrage et de séquences bimodales avec ancrage

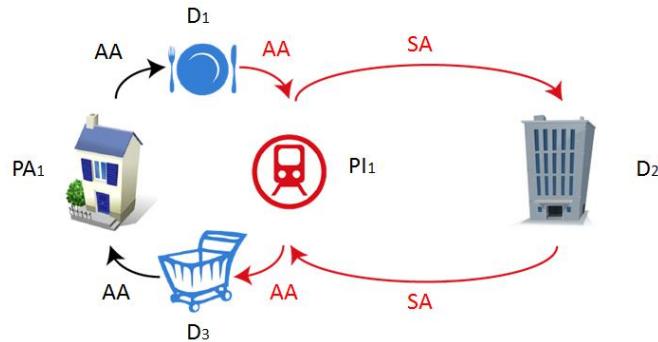


Figure 3.53 Forme de la chaîne complexe mono-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales avec ancrage

Séquence : AA-(AA-SA)-(SA-AA)-AA

Forme de la chaîne : PA<sub>1</sub> – D<sub>1</sub> – PI<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PI<sub>1</sub> – D<sub>3</sub> – PA<sub>1</sub>

Nombre d’alternatives possibles : 2

Tel que mentionné plus tôt, l’ordre dans lequel se trouvent les activités secondaires par rapport au PI peut influencer le nombre d’alternatives possibles. En effet, si par exemple la forme avait

plutôt été  $PA_1 - PI_1 - D_1 - D_2 - PI_1 - D_3 - PA_1$ , tel qu'illustre sur à la Figure 3.54, il y aurait 14 alternatives possibles.

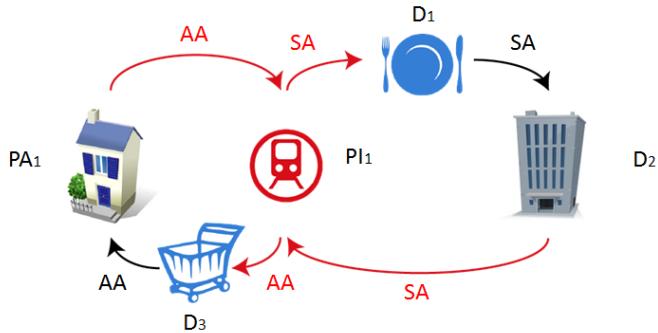


Figure 3.54 Forme de chaîne complexe mono-boucle à 3 activités pour les séquences bimodales avec ancrage et les modes sans ancrage

### 3.4.3 Les alternatives modales et les paramètres du coût généralisé

Dans le cadre de la modélisation du choix modal, il est important d'explorer plus profondément les alternatives modales disponibles, mais aussi les paramètres du coût généralisé des différents modes qui n'ont pas encore été approfondis. Les coûts sont parfois monétaires, parfois temporels, mais comme le coût généralisé s'exprime par une addition des différents paramètres, la logique est donc de traduire les différents temps et coûts en minutes comparables. Alors que certains paramètres ont fait l'objet de nombreuses études, tel que les différentes composantes du temps de déplacement total en transport en commun, d'autres sont pratiquement absents de la littérature comme c'est le cas entre autres pour la valorisation du temps de déplacement. Cette section se veut un exercice de définition des paramètres.

Les modèles de choix modal actuels négligent plusieurs modes émergents qui font de plus en plus partie intégrante du cocktail de transport des usagers. Par exemple, l'autopartage, l'automobile libre-service et le vélo libre-service sont souvent mis de côté. Néanmoins, ces services sont offerts dans un nombre croissant d'arrondissements à travers la ville de Montréal.

Le Tableau 3.5 Paramètres du déplacement des alternatives modales présente les paramètres du coût généralisé des alternatives modales en incluant les modes émergents et les paramètres qui n'ont pas encore été approfondis dans la littérature. Ces paramètres sont divisés en trois catégories : variables mesurables en temps ou argent (rouge), variables ayant un effet sur une autre variable (vert), variables qualitatives (bleu).

Tableau 3.5 Paramètres du déplacement des alternatives modales

Variables \ Modes	AC	CF	CP	APT	ALS	TX	TC	VE	VLS	MA
Temps de déplacement à bord du mode	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Temps de rabattement et diffusion	X	X	X	X	X		X	X	X	
Temps d'attente / préparation	X			X	X	X	X		X	
Nombre de transferts							X			
Carburant / Électricité	X									
Tarif / abonnement				X	X	X	X	X		X
Tarif de stationnement / Péage	X			X	X					
Achat / Entretien du véhicule	X							X		
Immatriculation / Assurance / Permis	X									
Incertitude sur le temps déplacement	X	X	X	X	X	X	X			
Valorisation du temps de déplacement		X	X			X	X			X
Dépense d'énergie / Activité physique							X	X	X	X
Météo							X	X	X	X
Degré de confort	X	X	X	X	X	X	X			
Transport de biens	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Flexibilité	X	X		X	X	X		X	X	X

AC Auto conducteur

ALS Auto libre-Service

VLS Vélo libre-Service

CF Covoiturage familial

TX Taxi

MA Marche

CP Covoiturage professionnel

TC Transport en commun

APT Autopartage

VE Vélo

### 3.4.3.1 Temps de déplacement à bord du mode

Pour tous les modes, le temps de déplacement à bord du mode correspond à la mesure objective du temps passé à l'intérieur du véhicule. La marche constitue néanmoins une exception, car ce mode n'implique pas de véhicule. Ainsi, pour la marche il correspond au temps total de déplacement entre l'origine et la destination.

Selon Litman (2009), une différence importante existe entre la mesure objective du temps et le temps perçu. En effet, le temps perçu tend à augmenter avec l'inconfort, l'insécurité et la

congestion. C'est pour cette raison que d'autres paramètres seront proposés afin de bien saisir l'impact de ces variables négatives.

### 3.4.3.2 Temps de rabattement et diffusion

Pour l'automobile conducteur et le covoiturage familial, le rabattement correspond au temps de marche nécessaire pour accéder à la voiture lorsqu'elle n'est pas stationnée directement à l'origine du déplacement. La diffusion correspond au temps de recherche d'un stationnement à partir du moment où l'individu est arrivé à destination, par exemple dans le stationnement d'un centre d'achat. Il est suivi du temps de marche nécessaire entre la voiture stationnée et la destination. Bien qu'aucune mesure précise n'existe sur le sujet, le temps de marche entre les lieux d'origine ou destination et la voiture doit être perçu comme étant plus long. Cette supposition vaut également pour le temps de recherche du stationnement, qui peut être particulièrement négatif lorsque la disponibilité est faible et l'achalandage élevé, par exemple dans les centres commerciaux durant la période des fêtes.

Pour le covoiturage professionnel, le temps de rabattement et diffusion correspond à celui pour se rendre au point de rendez-vous entre le conducteur et le passager. Le temps de diffusion est celui mesuré entre le point de débarquement du véhicule et la destination.

Le temps de rabattement pour l'autopartage constitue celui nécessaire pour se rendre à la station où est stationné le véhicule. Pour les déplacements suivants, lorsque l'usager a le véhicule en sa possession, ce temps est le même que pour l'automobile conducteur. Le temps de diffusion est lui aussi le même que pour l'automobile conducteur. Lors du dernier déplacement effectué avec le véhicule, la diffusion constitue le temps mesuré entre la station et la destination. Pour l'automobile libre-service, le rabattement et la diffusion sont les mêmes que pour l'autopartage, mais la station est remplacée par une zone de stationnement au sein d'un quartier.

Le rabattement et la diffusion du transport en commun est sans doute le paramètre le mieux documenté. Ils constituent les temps de marche mesurés entre l'origine et l'arrêt d'origine du transport en commun, ainsi que celui entre l'arrêt de destination et la destination. Lorsque l'on tente de mesurer le temps perçu de ces temps de marche, plusieurs recommandent de les évaluer comme correspondant à 200% ou 250% du temps de déplacement à bord du véhicule. (Mackie, Wardman, Fowkes, & Whelan, 2003) Néanmoins, selon Litman (2009) lorsque ce déplacement est fait sous des conditions plaisantes, cela peut réduire sa conception négative.

Même s'il est généralement très faible, les usagers du vélo ont eux aussi un temps de rabattement et de diffusion. En effet, il est parfois nécessaire de marcher un peu pour se rendre à l'endroit où est stationné son vélo. Aussi, une fois à destination, il n'est pas toujours simple de trouver un support où se stationner. Pour ce qui est du vélo libre-service, le rabattement et éclatement ressemble beaucoup à ceux de l'automobile libre-service, seulement dans le contexte du cycliste. Également, il peut arriver qu'une station soit vide au rabattement ou pleine à la diffusion, ce qui rallonge ce temps.

### **3.4.3.3 Temps de préparation / d'attente**

Pour l'automobile conducteur, le temps de préparation est celui mesuré une fois rendu au véhicule avant de pouvoir l'utiliser. Par exemple, durant la saison hivernale il est nécessaire de déneiger la voiture et de réchauffer le moteur avant de pouvoir utiliser le véhicule. Cette définition est également valide pour l'autopartage et l'automobile libre-service, mais une autre dimension s'ajoute, soit celle de la réservation, où un temps est nécessaire pour se rendre sur internet et vérifier la disponibilité et l'emplacement du véhicule désiré. Bien que la réservation ne soit pas nécessaire pour un service de vélo libre-service, un temps de préparation peut être nécessaire pour s'assurer de sa disponibilité à la station la plus proche. Autrement, l'usager décidera de marcher quelques minutes de plus (rabattement) pour se rendre à une station où des vélos sont disponibles.

En taxi, le temps d'attente correspond à celui écoulé entre l'heure où un appel est effectué au centre d'appel et l'heure à laquelle le taxi arrive à l'adresse voulue.

Le temps d'attente du transport en commun est celui entre l'heure d'arrivée à l'arrêt et le moment où l'usager entre dans le véhicule. Tout comme le temps de rabattement et éclatement, une minute d'attente est perçue de deux à cinq fois plus longue qu'une minute à bord du véhicule. Néanmoins, un service de suivi du temps d'attente en temps réel a prouvé diminuer le temps d'attente d'approximativement 20% (Litman, 2008).

### **3.4.3.4 Nombre de transferts**

Le nombre de transferts ne s'applique qu'au transport en commun et agit très négativement sur le coût généralisé d'un déplacement. Effectivement, il est estimé qu'ils imposent une pénalité équivalente à 5 à 15 minutes du temps à bord du véhicule. Cela exprime bien l'inconfort,

l’insécurité et l’incertitude que ressent un usager lorsqu’il débarque à une station pour attendre un autre bus ou wagon (Litman, 2008).

### **3.4.3.5 Carburant / Électricité**

Pour l’automobile conducteur, ce paramètre constitue le coût monétaire pour l’achat de carburant nécessaire à l’utilisation de la voiture. Également, de plus en plus de voitures électriques font leur apparition, ce qui nécessite aussi un coût monétaire. Pour une voiture qui fonctionne à l’essence ou au diesel, on calcule la consommation L/km du véhicule et on la multiplie par le nombre de kilomètres parcourus pour obtenir la consommation totale de carburant. On multiplie ensuite le résultat par le tarif \$/L du carburant pour obtenir le coût monétaire associé au parcours. Le calcul est semblable pour la voiture électrique, mais on remplace la consommation du véhicule par des kWh/km et le tarif du carburant par celui de l’électricité en \$/kWh.

### **3.4.3.6 Tarif / abonnement**

Le tarif à l’utilisation se différencie de l’abonnement à un service, car étant donné qu’il est déboursé à chaque utilisation, il tend à avoir un plus gros impact négatif sur le coût généralisé du déplacement. En fait, un usager abonné à un service ne réalise pas de la même façon qu’il débourse un coût monétaire pour y avoir accès. Ainsi, bien que l’autopartage, l’automobile libre-service, le transport en commun et le vélo libre-service offrent la possibilité à leurs usagers de s’abonner, le coût généralisé ne considérera que le tarif déboursé par un usager sans abonnement. La possession d’un titre mensuel constituera plutôt une caractéristique de la personne agissant positivement sur l’utilisation du mode en question.

Pour le taxi, le tarif est constitué d’un coût de départ, un coût calculé au kilomètre et un coût par minute. Du côté de l’autopartage, différents frais d’abonnement sont associés aux forfaits et un coût variable est calculé au kilomètre et à l’heure. Pour l’automobile libre-service, il n’y a que des frais calculés à la minute et pour le vélo libre-service, un tarif fixe est payé lors de la prise du vélo pour les non-abonnés. Précisons que pour le vélo libre-service, si un usager l’utilise pour une période plus longue que celle inclut dans son forfait, il y aura un coût supplémentaire.

Il arrive que le passager doive débourser certains frais afin de bénéficier du service de « covoiturage professionnel ». Des services en ligne permettent de mettre en contact les abonnés pour les déplacements à longue distance.

### **3.4.3.7 Tarif de stationnement / péage**

Le tarif de stationnement constitue le coût monétaire associé au stationnement du véhicule, lorsque nécessaire. Le coût varie selon le type de stationnement et le secteur où la voiture est stationnée.

Depuis quelques années, le péage refait surface sur le territoire montréalais. Il constitue donc le coût monétaire associé au droit de passage sur un segment du réseau routier. Lorsqu'un usager possède un abonnement, son coût ne sera pas associé au coût généralisé de l'utilisation de l'automobile conducteur pour un déplacement donné.

Les tarifs de stationnement et de péage tendent à avoir un plus grand impact sur le transfert modal vers le transport en commun que ne l'ont les autres coûts associés au véhicule étant donné qu'en payant ces frais sur la base de l'utilisation, leur perception est davantage négative (Litman, 2004).

### **3.4.3.8 Achat / Entretien du véhicule**

Dans le même ordre d'idée que pour les abonnements, les frais dépensés pour l'achat et l'entretien d'une voiture ou d'un vélo ne sont pas perçus négativement par l'usager, car ils ne sont pas payés à l'utilisation.

Selon une étude de Litman (2008), le coût fixe par mile en 2007 était de 0.066\$ alors que celui de l'automobile était de 0.272\$. Les coûts variables étaient de 0.0264\$ pour le vélo et 0.1637\$ pour la voiture.

### **3.4.3.9 Assurance / immatriculation / permis de conduire**

Annuellement, les conducteurs d'une automobile doivent payer les assurances de leur véhicule et les plaques d'immatriculation. Chaque détenteur d'un permis de conduire doit également payer son permis de conduire le jour de son anniversaire. Encore ici, étant donné que ces frais monétaires ne sont pas déboursés à l'utilisation, ils ne sont pas perçus négativement par l'usager dans le cadre d'un déplacement.

### **3.4.3.10 Incertitude sur le temps de déplacement**

L'incertitude sur le temps de déplacement, principalement un délai imprévu qui se traduit par un retard sur l'horaire prévu, aura pour effet d'augmenter le coût associé au temps de déplacement. L'effet est particulièrement négatif lors d'une activité qui requiert un horaire strict, tel que le

motif « travail » (Hollander, 2006). Une étude de Litman (2008) démontre d'ailleurs qu'un délai imprévu au temps de déplacement en transport en commun multiplie par 3,7 le temps de déplacement à bord du véhicule. Sous des conditions extrêmes, cette pénalité augmente jusqu'à 5 fois. Néanmoins, lorsque le problème est communiqué aux usagers, le temps perçu est réduit.

Pour les véhicules motorisés, l'incertitude sur le temps de déplacement est généralement associée au temps supplémentaire accordé au déplacement par rapport au temps en circulation libre. La raison principale est généralement la congestion causée par les accidents, des travaux ou simplement l'achalandage élevé du réseau routier en heure de pointe.

La congestion n'est pas perçue similairement par les usagers des différents modes. En effet, lorsqu'un usager n'a pas la responsabilité de conduire, le coût imposé par la congestion est plus bas, même s'il subit le même délai au niveau du temps de déplacement (Litman, 2009).

### **3.4.3.11 Valorisation du temps de déplacement**

Parmi les paramètres qui n'ont pas été beaucoup approfondis dans la littérature, on retrouve la valorisation du temps de déplacement. Effectivement, les modes qui ne nécessitent pas une conduite de la part de l'usager offrent la possibilité de faire quelque chose de constructif durant le trajet, ce qui réduit l'effet négatif du temps de déplacement. Une étude menée en Grande-Bretagne auprès de passagers du train démontre que les usagers ont tendance à dépenser ce temps selon six catégories et une part d'entre eux le trouvent « assez utile » : dormir (45%), lire pour le loisir (59%), travailler/étudier (56%), parler à d'autres passagers (54%), regarder les gens / réfléchir en regardant par la fenêtre (51%) et écouter de la musique (52%). Sur l'ensemble des répondants, 23% ont trouvé que le temps passé à bord du train a été « très utile », 55% le trouve « assez utile » et 18% le considère comme une « perte de temps » (Lyons, Jain, & Holley, 2007). Une autre étude de Russel (2012) démontre par contre que même si 71,6% des répondants de son enquête disent faire un usage « assez utile » (54,9%) ou « très utile » (26,7%), 66% d'entre eux préféreraient être téléportés à destination. Ainsi, même si en transport en commun, les usagers trouvent le moyen de valoriser ce temps de déplacement, celui-ci sera toujours considéré négativement par la majorité.

Étant donné que le covoiturage professionnel, le familial et le taxi sont également tous des modes qui ne nécessitent pas de conduire, de la part des usagers, ils permettent donc également la valorisation du temps de déplacement. La marche quant à elle permet une valorisation partielle du

temps de déplacement. En effet, alors que les autres modes permettent de lire, dormir ou travailler, la marche permet d'apprécier le paysage, réfléchir et parler au téléphone.

#### **3.4.3.12 Dépense d'énergie / activité physique**

La dépense d'énergie / activité physique est une autre variable qui aura un effet sur le temps de déplacement. En effet, pour certains usagers, le fait que les modes actifs entraînent une dépense d'énergie peut avoir un effet positif, car, un peu comme la valorisation du temps de déplacement, il permet de combiner temps de déplacement et activité physique. Ainsi, un usager pour qui l'activité physique quotidienne est importante n'aura pas nécessairement besoin d'aller courir ou faire du vélo pour subvenir à ce besoin. L'activité physique n'est pas réservée à l'utilisation des transports actifs, une étude de Morency, Trépanier et Demers (2011) démontre que les utilisateurs du transport en commun résidant à Montréal obtiennent 25% du niveau recommandé quotidien d'activité physique, simplement lors du rabattement et la diffusion. D'ailleurs, une des conclusions de cette étude est que l'utilisation des transports en commun comprend un meilleur potentiel d'activité physique (nombre de pas) à l'échelle de la population que la marche comme telle. Néanmoins, pour une personne qui n'a pas les capacités physiques nécessaires, les modes actifs seront perçus négativement. Cet usager tentera plutôt d'éviter les modes nécessitant une trop grande dépense énergétique.

#### **3.4.3.13 Météo**

La météo peut avoir un effet positif ou négatif sur le temps de déplacement. En effet, par une belle journée ensoleillée, certains préféreront marcher ou pédaler plutôt que d'attendre le transport en commun et risquer d'être coincés dans la foule d'usagers. Néanmoins, il est évident que lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises, le coût lié au temps de déplacement en transports actifs est de deux à trois fois plus élevé. D'ailleurs, une étude faite à Copenhague démontre une grande variabilité sur l'utilisation de la marche entre l'été et l'hiver alors que moins de la moitié des habitants marche l'hiver (Goodman, 2001).

Le temps de déplacement en transport en commun est lui aussi à la merci des conditions météorologiques, principalement en ce qui concerne le temps de rabattement et de diffusion à la marche.

### **3.4.3.14 Degré de confort**

L'automobile offre un degré de confort élevé au conducteur étant donné qu'il y est assis et qu'il n'y est pas coincé avec d'autres individus. Évidemment, certaines voitures offrent un degré de confort plus élevé que d'autres et le nombre de passagers a également un effet sur le temps de déplacement. En effet, une étude estime que lorsqu'un conducteur décide de reconduire un passager, un temps additionnel de huit minutes s'applique au temps de déplacement, dix minutes pour deux passagers et 12 minutes pour trois passagers, en plus d'un mile supplémentaire par passager (Kain, 1994). Ainsi, le degré de confort se mesure principalement par la présence ou non d'autres personnes. Le degré de confort dans un taxi est inférieur à celui ressenti dans un véhicule personnel. Le fait d'entrer dans le véhicule d'un inconnu peut effectivement gêner certaines personnes et ainsi l'empêcher de s'installer à son aise.

En transport en commun, le degré de confort est estimé selon la densité de la foule d'usagers. Même assis, lorsqu'il y a foule dans le véhicule, le temps de déplacement augmente de 17%, 34% lorsque debout pendant 10 minutes, 81% lorsque debout pendant 20 minutes et jusqu'à 152% lorsque debout et coincé pendant 20 minutes et plus (Litman, 2008).

### **3.4.3.15 Transport de biens**

Chaque mode permet de transporter des biens, mais à différents degrés. Les modes impliquant une automobile sont nécessairement ceux qui permettent de transporter le plus de biens et sans contraintes. Ensuite le transport en commun permet de transporter de relativement gros objets, dans la mesure où la personne peut les transporter à la marche. En ayant la possibilité de les déposer lorsqu'immobile, le potentiel est plus grand que pour la marche. Finalement, pour les modes qui impliquent le vélo, le transport d'objet se limite généralement à un ou deux sacs qui ne doivent pas être encombrants durant le déplacement.

### **3.4.3.16 Flexibilité**

L'automobile conducteur offre un degré de flexibilité élevé, car l'individu n'est pas contraint à respecter un trajet défini ou un horaire rigide alors que le degré de flexibilité du passager, lors du covoiturage familial, n'est pas le même. En effet, le passager peut être contraint à respecter l'horaire et le trajet du conducteur. Dans d'autres cas, le déplacement du passager sera le seul motif du déplacement du conducteur. À l'exception du covoiturage professionnel et du transport

en commun, les autres modes offrent tous une flexibilité semblable à celle de l'automobile conducteur.

## CHAPITRE 4 ANALYSE DES DONNÉES ET MODÉLISATION : ÉTUDE DE CAS

Afin d'illustrer l'utilité d'intégrer les paramètres de la chaîne de déplacements au sein des outils de planification, cette étude de cas propose une comparaison entre deux modèles de choix modal : un modèle basé sur les déplacements et un autre basé sur les chaînes de déplacements. Le territoire ciblé est le corridor de train de banlieue Vaudreuil-Hudson de la GRM (en rouge sur la Figure 4.1). Cette ligne de train de banlieue relie la station Lucien-L'Allier, au centre-ville de Montréal, à la station Hudson, à l'ouest de l'île de Montréal, en longeant le sud de l'île, desservant ainsi les banlieues ouest. Notons que la gare Rigaud n'est plus en service depuis 2010, mais elle a tout de même été considérée dans l'étude étant donné que les données utilisées datent de 2008. Cette ligne de train est choisie principalement en raison de son horaire concentré aux heures de pointe faisant en sorte qu'elle soit surtout utilisée pour les déplacements pendulaires. Cette section est organisée comme suit. D'abord, les différentes étapes de la préparation des données seront décrites. Ensuite, ces données seront analysées afin de mieux comprendre leur effet sur le modèle. Pour continuer, une description du cadre dans lequel s'intègre ce modèle est proposée. Par la suite, les résultats de l'estimation seront discutés. Finalement, les deux modèles seront analysés et comparés à partir des résultats de leur simulation.



Figure 4.1 Réseau des trains de banlieue de la GRM (Source: AMT)

## 4.1 Préparation des données

Cette section présente de manière détaillée la façon dont ont été préparées les données afin d'être intégrées aux modèles de choix modal. D'abord, on décrit étape par étape comment les chaînes du corridor de train de banlieue Vaudreuil-Hudson et les déplacements qui les constituent sont extraits de l'ensemble des données de l'EOD 2008. Ensuite, on détermine l'ensemble de choix pour chacun des modèles en tenant compte des critères nécessaires à la disponibilité des alternatives.

### 4.1.1 Extraction des données

L'extraction des données du corridor de train de banlieue Vaudreuil-Hudson se fait en trois étapes : l'extraction des déplacements en train, l'extraction des déplacements tous modes confondus et l'extraction des chaînes.

#### 4.1.1.1 Extraction des déplacements en train

La première étape de préparation des données constitue l'extraction des déplacements de l'EOD 2008 dont au moins un segment est effectué à partir de la ligne de train Vaudreuil-Hudson. Les secteurs municipaux d'origine et de destination de ces déplacements sont compilés en paires afin de créer une matrice OD.

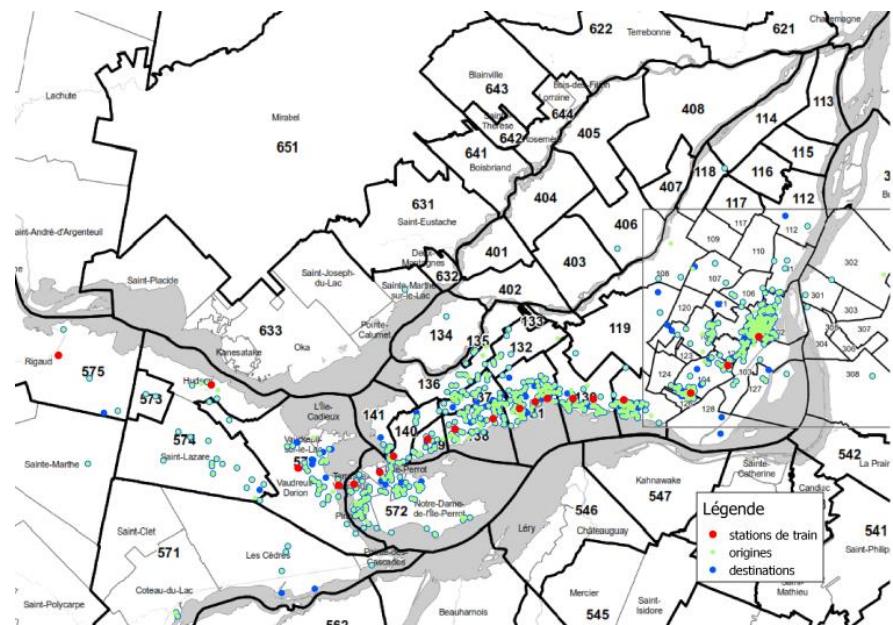


Figure 4.2 Extraction des paires OD des déplacements effectués en train

#### 4.1.1.2 Extraction des déplacements, tous modes confondus

La seconde étape consiste à extraire les déplacements, tous modes confondus, dont la paire OD des secteurs municipaux correspond à l'une des paires de la matrice OD créée précédemment. Ainsi, pour chacun de ces déplacements, le train constituait une alternative faisable. À cette étape, il est déjà possible de filtrer les paires OD aberrantes en vérifiant si l'origine et la destination des déplacements correspondent bien à la paire OD des secteurs municipaux. Effectivement, certaines erreurs sont observées dans l'EOD. Généralement, l'erreur correspond à une destination mal codée, ce qui mène à un déplacement qui ne possédait pas d'alternative plausible en train. Également, le motif de déplacement « Sur la route » crée problème, car l'origine et la destination sont dans le même secteur municipal et l'utilisation du train pour ce type de déplacement est peu probable.

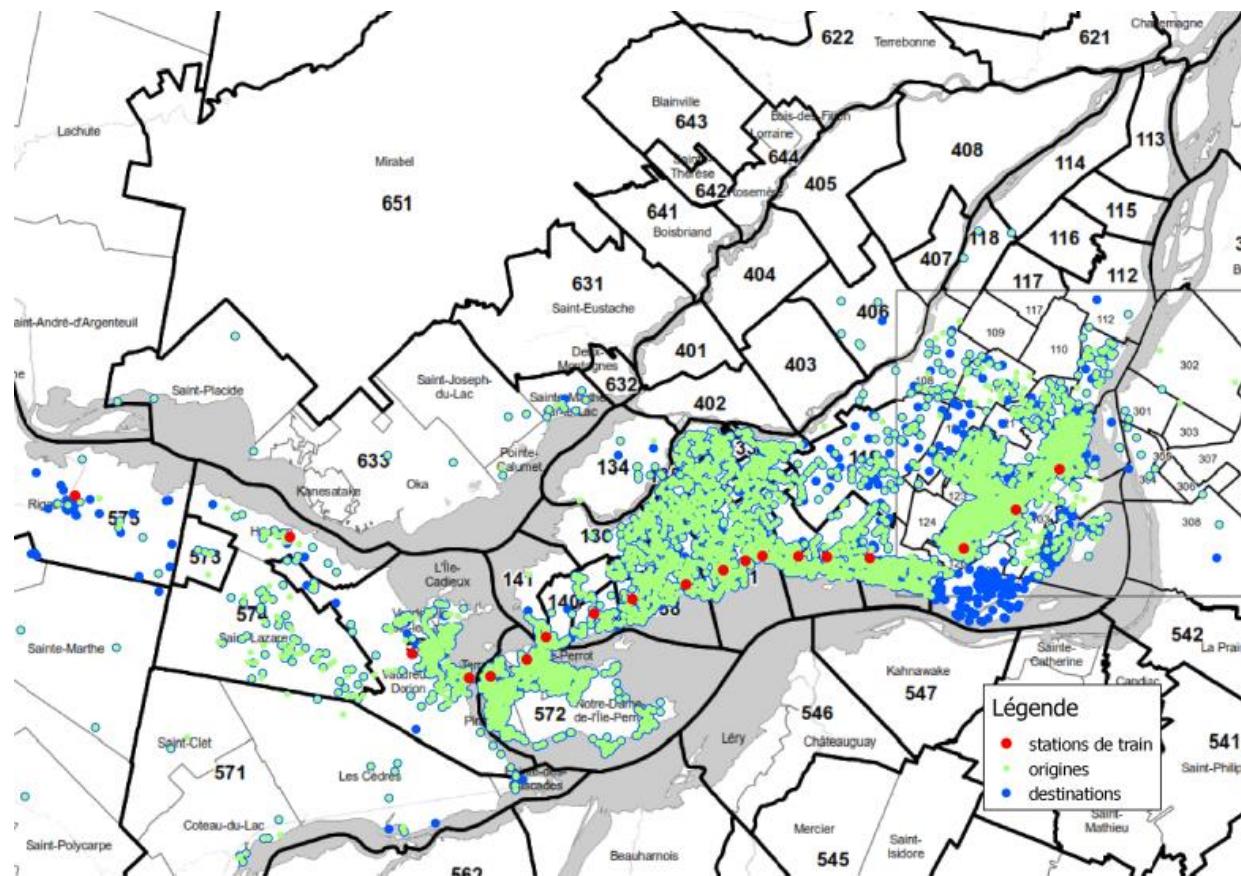


Figure 4.3 Extraction des paires OD des déplacements, tous modes confondus

#### 4.1.1.3 Extraction des chaînes

En troisième étape, il importe d'extraire l'objet principal de notre étude, c'est-à-dire la chaîne de déplacements dont au moins un des déplacements correspond à ceux extraits à l'étape précédente. Précisons que dans le cadre de cette étude, seules les chaînes s'amorçant ou se terminant au domicile sont considérées. Ainsi, les chaînes ouvertes sont exclues. À cette étape, une base de données de chaînes est créée et à partir de celle-ci, une deuxième est construite, constituée des déplacements de la chaîne, mais codés individuellement dans l'objectif d'être utilisée pour le modèle basé sur les déplacements. Afin de simplifier la méthode, le modèle de choix modal basé sur les chaînes n'estimera que les chaînes simples.

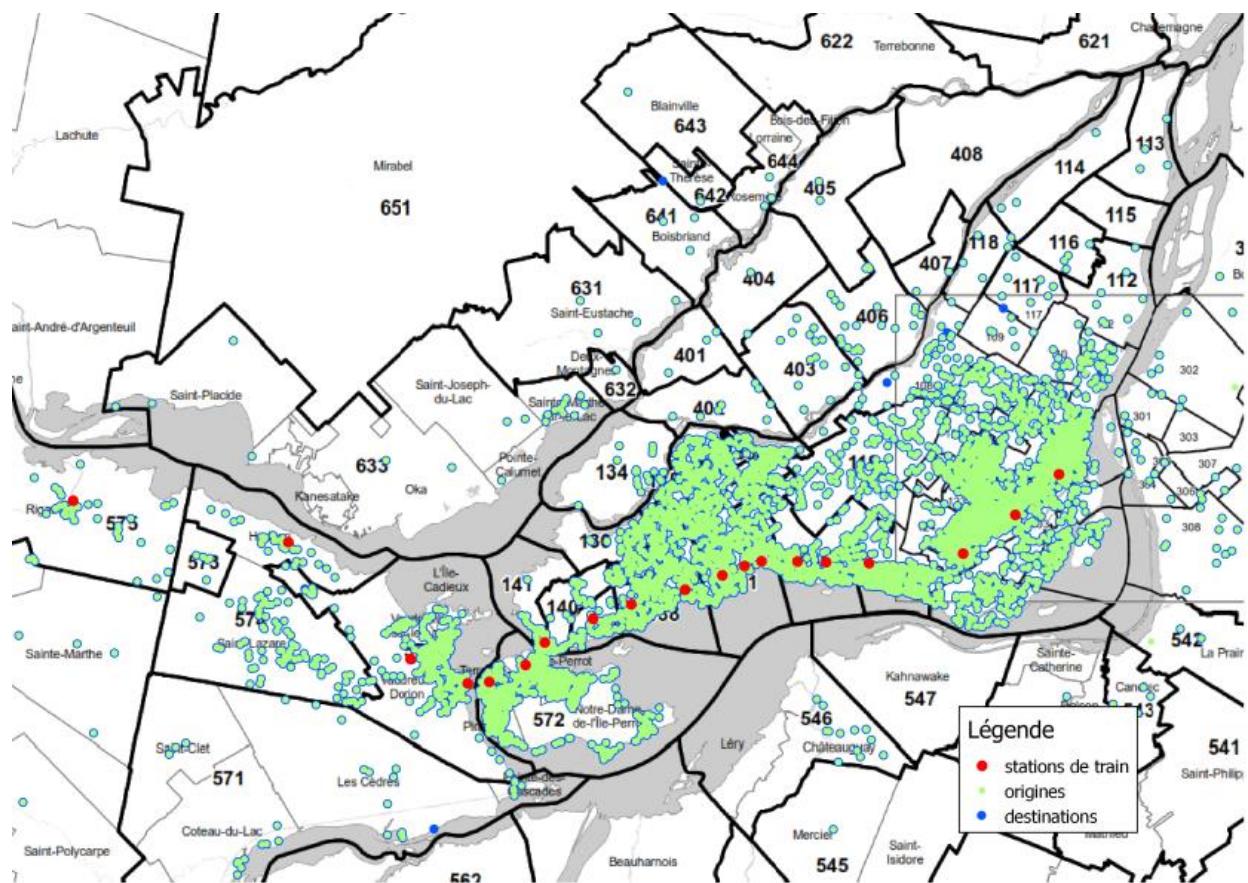


Figure 4.4 Extraction des chaînes correspondant aux déplacements extraits précédemment

## 4.1.2 Développement de l'ensemble de choix

### 4.1.2.1 Développement des alternatives modales disponibles pour le modèle basé sur les déplacements individuels

Dans le cadre de cette étude, huit modes différents constituent l'ensemble de choix des individus. L'automobile conducteur, l'automobile passager, le transport en commun, la marche, le vélo, le train, la séquence bimodale *Park and Ride* (automobile conducteur et train) et la séquence *Kiss and Ride* (automobile passager et train) sont les alternatives de ce modèle en raison des outils disponibles ayant permis le calcul du temps de déplacement. Il est important de noter que le train a été analysé à part des autres modes de transport en commun étant donné qu'il constitue l'élément central du corridor à l'étude.

Tableau 4.1 Alternatives modales disponibles

No	Code	Mode	Nb obs.
1	AC	Automobile conducteur	4448
2	AP	Automobile passager	1153
3	TC	Transport en commun	1680
4	MA	Marche	280
5	VE	Vélo	124
6	TR	Train	684
7	PR	Park and Ride (AC et TR)	338
8	KR	Kiss and Ride (AP et TR)	181

### 4.1.2.2 Développement des alternatives de séquence modale disponibles pour le modèle basé sur les chaînes de déplacements

L'une des règles les plus importantes des modèles MNL est que chacune des alternatives doit correspondre à des observations au sein de l'échantillon. Ainsi, une liste des séquences de deux modes ayant servi à compléter une chaîne simple au sein de l'échantillon a été faite pour laquelle le nombre d'observations était indiqué. Un minimum d'observations a été déterminé, soit huit. Ainsi, 15 différentes alternatives de séquence modale ont été choisies (Tableau 4.2 Alternatives de séquences modales disponibles). C'est à cette étape qu'ont été éliminées les alternatives comportant des déplacements à partir de modes qui ne sont pas considérés dans l'estimation des modèles suivants. Également, les alternatives absurdes, c'est-à-dire qui ne respectent pas la typologie des alternatives disponibles pour une forme de chaîne, tel que développé dans le cadre

théorique (Section 3.4.2), sont éliminées de l'ensemble de choix. Par exemple, dans ce cas-ci, l'alternative AP-AC (Automobile passager – Automobile conducteur) a été éliminée de l'ensemble de choix étant donné que selon la typologie développée, une forme de chaîne simple PA<sub>1</sub> – D<sub>2</sub> – PA<sub>1</sub> ne peut être composée d'un mode sans ancrage suivi d'un mode "avec ancrage", car celui-ci ne serait pas disponible à partir de D<sub>2</sub>.

Tableau 4.2 Alternatives de séquences modales disponibles

No	Code	Séquence de Modes	Nb obs.
<b>1</b>	AC-AC	Automobile conducteur-Automobile conducteur	2220
<b>2</b>	TC-TC	Transport en commun-Transport en commun	800
<b>3</b>	AP-AP	Automobile passager-Automobile passager	543
<b>4</b>	TR-TR	Train-Train	317
<b>5</b>	PR(TR)-PR(TR)	Park and Ride (Train)-Park and Ride (Train)	169
<b>6</b>	MA-MA	Marche-Marche	136
<b>7</b>	KR(TR)-KR(TR)	Kiss and Ride (Train)-Kiss and Ride (Train)	81
<b>8</b>	VE-VE	Vélo-Vélo	62
<b>9</b>	AP-TC	Automobile passager-Transport en commun	32
<b>10</b>	TC-AP	Transport en commun-Automobile passager	26
<b>11</b>	KR(TR)-TR	Kiss and Ride (Train)-Train	19
<b>12</b>	TC-TR	Transport en commun-Train	11
<b>13</b>	TR-TC	Train-Transport en commun	11
<b>14</b>	TR-AP	Train-Automobile passager	9
<b>15</b>	AP-MA	Automobile passager-Marche	8

#### 4.1.2.3 Disponibilité des alternatives

La disponibilité des alternatives modales est calculée au niveau du déplacement. Ce n'est qu'ensuite que les déplacements sont enchaînés selon la structure de la chaîne qu'ils composent et que la disponibilité de la séquence modale de celle-ci est calculée.

##### 4.1.2.3.1 Automobile conducteur

Deux conditions ont été recherchées afin d'assurer la disponibilité de l'automobile conducteur. Le ménage doit compter un minimum d'une voiture et l'individu doit posséder un permis de conduire. Ainsi, étant donné que le permis de conduire est considéré dans la disponibilité du mode, celui-ci ne constituera pas un des paramètres de la fonction d'utilité pour l'automobile conducteur.

#### *4.1.2.3.2 Automobile passager*

La disponibilité de l'automobile passager est plus simple. Seule la présence d'au moins une voiture dans le ménage est nécessaire.

#### *4.1.2.3.3 Transport en commun*

Pour que le transport en commun soit disponible parmi les choix d'un individu, il faut d'abord qu'un trajet ait été calculé par le calculateur de chemin. Effectivement, certains déplacements ne possèdent pas d'alternative en transport en commun étant donné que leur origine est trop éloignée du réseau routier Open Street Map (OSM) utilisé par le calculateur. Précisions qu'OSM constitue une base de données géographiques sous licence libre, dont les données sont récoltées par les usagers. Également, un temps de déplacement seuil a été déterminé pour le temps de marche à partir de l'origine et celui vers la destination. Cette méthode s'inspire de celle de distance seuil utilisée par Godefroy (2011). Ce temps seuil est calculé à partir des observations de l'échantillon et correspond au temps de rabattement et de diffusion marché par 85% ou moins des utilisateurs réels du transport en commun. Ainsi, les individus qui marchent moins de 17 minutes à partir de l'origine et 17 minutes vers la destination peuvent compter le transport en commun parmi leurs alternatives disponibles.

#### *4.1.2.3.4 Marche et vélo*

La disponibilité de la marche et du vélo est déterminée selon la même méthode de temps de déplacement seuil vue précédemment, seulement dans ce cas-ci il s'agit de la distance seuil. Ainsi la distance seuil déterminée pour la marche est de 1,4 km et pour le vélo elle est de 5,7 km. Notons que le vélo est considéré comme étant disponible pour tous sans se soucier de la disponibilité réelle de ce type de véhicule au sein du ménage puisque cette information n'est pas disponible.

#### *4.1.2.3.5 Train*

Étant donné que le rabattement et la diffusion à la station de train se font à la marche, le concept de distance seuil est ici aussi utilisé. Ainsi, le train est disponible seulement si une station de la ligne Vaudreuil-Hudson se trouve à moins de 1,4 km de l'origine et de la destination du déplacement. Également, l'horaire des trains est pris en considération par rapport à l'heure du déplacement et sa direction.

#### 4.1.2.3.6 Park and Ride et Kiss and Ride

Le premier critère que doit rencontrer un individu pour pouvoir utiliser les séquences *Park and Ride* et *Kiss and Ride* correspond respectivement à ceux de l'automobile conducteur et de l'automobile passager. Ensuite, étant donné que le rabattement et la diffusion peut se faire à la marche ou en auto, le concept de distance seuil est ici aussi utilisé. La distance seuil pour les parcours effectués en automobile est de 7 km alors que pour ceux effectués à la marche est de 1,4 km. Ici aussi, l'horaire des trains est considéré en fonction de l'heure de départ et la direction du déplacement.

## 4.2 Analyse des données

Cette section énumère les différentes variables utilisées au sein des deux modèles de choix modal. On y décrit également comment ont été obtenus les temps de déplacement et les coûts monétaires des différentes alternatives.

### 4.2.1 Variables étudiées

Les différentes variables pouvant être intégrées aux modèles de choix modal développés dans cette section sont très nombreuses. Néanmoins, étant donné le caractère expérimental du modèle basé sur les chaînes, des variables relativement simples ont été choisies pour son estimation. Le Tableau 4.3 décrit les variables retenues pour l'étude du modèle basé sur les déplacements individuels. Elles caractérisent le profil sociodémographique de la personne et de son ménage, ainsi que les caractéristiques des déplacements (voir alternatives au Tableau 4.1). Le Tableau 4.4 décrit plutôt les variables retenues pour l'étude du modèle basé sur les chaînes. Elles caractérisent également le profil de l'individu et de son ménage, ainsi que les chaînes à partir des attributs des déplacements (voir les alternatives au Tableau 4.2).

Tableau 4.3 Description des variables étudiées pour le modèle basé sur les déplacements

Type de Variable	Nom de la variable	Description	Min	Max	$\bar{X}$	$\sigma$
	Choix	Alternative choisie observée				
Variables socio-démographiques	m_autologi	Nombre de voitures dans le ménage	0.00	14.00	1.73	1.11
	m_nb_adulte	Nombre d'adultes dans le ménage	1.00	8.00	2.40	0.95
	m_nb_enfant	Nombre d'enfant dans le ménage	0.00	5.00	0.74	1.00
	p_age_0_15	Personne âgée de 0 à 15 ans (0 ou 1)	0.00	1.00	0.09	0.28
	p_age_16_24	Personne âgée de 16 à 24 ans (0 ou 1)	0.00	1.00	0.15	0.36
	p_age_25_64	Personne âgée de 25 à 64 ans (0 ou 1)	0.00	1.00	0.69	0.46
	p_age_65_plus	Personne âgée de 65 ans et plus (0 ou 1)	0.00	1.00	0.07	0.26
	p_sexe_h	Personne de sexe masculin (0 ou 1)	0.00	1.00	0.51	0.50
	p_sexe_f	Personne de sexe féminin (0 ou 1)	0.00	1.00	0.49	0.50
	p_statut_trav_etu	Personne de statut travailleur ou étudiant (0 ou 1)	0.00	1.00	0.80	0.40
	p_titre_tc_oui	Personne possède un titre de transport (0 ou 1)	0.00	1.00	0.28	0.45
	p_titre_tr_oui	Personne ne possède pas de titre de transport (0 ou 1)	0.00	1.00	0.12	0.32
	p_permis_oui	Personne possède un permis de conduire (0 ou 1)	0.00	1.00	0.81	0.39
Caractéristiques du déplacement	d_motif_trav_etu	Déplacement de motif travail ou étude (0 ou 1)	0.00	1.00	0.36	0.48
	d_motif_autre	Déplacement de motif autre (0 ou 1)	0.00	1.00	0.14	0.34
	d_cout_total_1	Coût total du déplacement en AC (\$)	0.01	8.74	2.01	1.44
	d_cout_total_3	Coût total du déplacement en TC (\$)	0.00	5.50	0.66	1.25
	d_cout_total_6	Coût total du déplacement en TR (\$)	0.00	9.75	3.30	1.88
	d_cout_total_7	Coût total du déplacement en PR (\$)	0.05	16.00	3.96	2.53
	d_cout_total_8	Coût total du déplacement en KR (\$)	0.00	8.50	3.17	1.83
	d_dist_totale_4	Distance totale du déplacement en MA (mètres)	16.00	44018.00	1840.51	4216.89
	d_dist_totale_5	Distance totale du déplacement en VE (mètres)	144.00	30003.00	7201.31	5929.25
	d_temps_total_1	Temps de déplacement total en AC (min.)	0.00	60.00	15.47	9.35
	d_temps_total_2	Temps de déplacement total en AP (min.)	0.00	57.00	12.63	9.37
	d_temps_vehicule_3	Temps de déplacement à bord du véhicule en TC (min.)	0.00	126.00	29.06	18.37
	d_temps_vehicule_6	Temps de déplacement à bord du véhicule en TR (min.)	4.00	112.00	31.87	14.47
	d_temps_vehicule_7	Temps de déplacement à bord du véhicule en PR (min.)	12.00	124.00	43.49	21.80
	d_temps_vehicule_8	Temps de déplacement à bord du véhicule en KR (min.)	6.00	93.00	34.64	15.48
	d_temps_access_egress_3	Temps de rabattement et de diffusion en TC (min.)	0.00	57.00	18.26	8.57
	d_temps_access_egress_6	Temps de rabattement et de diffusion en TR (min.)	5.00	275.00	66.96	43.94
	d_temps_access_egress_7	Temps de rabattement et de diffusion en PR (min.)	5.00	419.00	52.10	55.19
	d_temps_access_egress_8	Temps de rabattement et de diffusion en KR (min.)	7.00	350.00	53.91	53.95
	d_temps_attente_3	Temps d'attente en TC (min.)	0.00	33.00	1.30	2.62
	d_nb_transfers_3	Nombre de transfers en TC	0.00	4.00	0.60	0.72
	d_duree_activite_1	Durée de l'activité lorsque effectuée en AC (min.)	-30.00	1354.00	375.21	242.83
	d_duree_activite_2	Durée de l'activité lorsque effectuée en AP (min.)	-5.00	1165.00	363.05	214.74
	d_duree_activite_3	Durée de l'activité lorsque effectuée en TC (min.)	-90.00	920.00	398.92	185.65
	d_duree_activite_4	Durée de l'activité lorsque effectuée en MA (min.)	-64.00	745.00	259.40	191.66
	d_duree_activite_5	Durée de l'activité lorsque effectuée en VE (min.)	-47.00	859.00	357.91	237.48
	d_duree_activite_6	Durée de l'activité lorsque effectuée en TR (min.)	-109.00	902.00	419.41	159.40
	d_duree_activite_7	Durée de l'activité lorsque effectuée en PR (min.)	-260.00	840.00	462.69	171.75
	d_duree_activite_8	Durée de l'activité lorsque effectuée en KR (min.)	-180.00	732.00	448.22	156.13

Tableau 4.4 Description des variables étudiées pour le modèle basé sur les chaînes

Type de Variable	Nom de la variable	Description	Min	Max	$\bar{x}$	$\sigma$
Variables sociodémographiques	Choix	Alternative choisie observée				
	m_autologi	Nombre de voitures dans le ménage	0.00	14.00	1.73	1.11
	m_nb_adulte	Nombre d'adultes dans le ménage	1.00	8.00	2.40	0.95
	m_nb_enfant	Nombre d'enfant dans le ménage	0.00	5.00	0.74	1.00
	p_age_0_15	Personne âgée de 0 à 15 ans (0 ou 1)	0.00	1.00	0.09	0.28
	p_age_16_24	Personne âgée de 16 à 24 ans (0 ou 1)	0.00	1.00	0.15	0.36
	p_age_25_64	Personne âgée de 25 à 64 ans (0 ou 1)	0.00	1.00	0.69	0.46
	p_age_65_plus	Personne âgée de 65 ans et plus (0 ou 1)	0.00	1.00	0.07	0.26
	p_sexe_h	Personne de sexe masculin (0 ou 1)	0.00	1.00	0.51	0.50
	p_sexe_f	Personne de sexe féminin (0 ou 1)	0.00	1.00	0.49	0.50
	p_statut_trav_etu	Personne de statut travailleur ou étudiant (0 ou 1)	0.00	1.00	0.80	0.40
	p_titre_tctr_oui	Personne possède un titre de transport (0 ou 1)	0.00	1.00	0.09	0.28
	p_titre_tctr_non	Personne ne possède pas de titre de transport (0 ou 1)	0.00	1.00	0.69	0.46
	p_permis_oui	Personne possède un permis de conduire (0 ou 1)	0.00	1.00	0.81	0.39
Caractéristiques de la chaîne	ch_motif_travail	Chaîne de motif travail (0 ou 1)	0.00	1.00	0.53	0.50
	ch_motif_non_travail	Chaîne de motif non-travail (0 ou 1)	0.00	1.00	0.27	0.44
	ch_cout_total_1	Coût monétaire total de l'alternative 1 (\$)	0.02	17.11	4.01	2.87
	ch_cout_total_2	Coût monétaire total de l'alternative 2 (\$)	0.00	8.50	1.27	2.46
	ch_cout_total_4	Coût monétaire total de l'alternative 4 (\$)	0.00	13.50	6.71	3.54
	ch_cout_total_5	Coût monétaire total de l'alternative 5 (\$)	28.23	216.52	83.58	34.05
	ch_cout_total_7	Coût monétaire total de l'alternative 7 (\$)	0.00	12.25	6.56	3.28
	ch_cout_total_9	Coût monétaire total de l'alternative 9 (\$)	0.00	3.00	1.41	1.50
	ch_cout_total_10	Coût monétaire total de l'alternative 10 (\$)	0.00	3.50	1.40	1.52
	ch_cout_total_11	Coût monétaire total de l'alternative 11 (\$)	0.00	9.75	4.04	3.29
	ch_cout_total_12	Coût monétaire total de l'alternative 12 (\$)	3.00	6.75	3.89	0.95
	ch_cout_total_13	Coût monétaire total de l'alternative 13 (\$)	2.25	4.50	3.45	0.79
	ch_cout_total_14	Coût monétaire total de l'alternative 14 (\$)	0.00	6.00	3.58	1.76
	ch_dist_total_6	Distance totale de l'alternative 6 (mètres)	32.00	88036.00	3682.06	8545.03
	ch_dist_total_8	Distance totale de l'alternative 8 (mètres)	288.00	59960.00	14402.61	11854.34
	ch_temps_total_1	Temps de déplacement total de l'alternative 1 (min.)	0.00	120.00	30.93	18.59
	ch_temps_total_3	Temps de déplacement total de l'alternative 3 (min.)	0.00	114.00	25.58	19.19
	ch_temps_total_9	Temps de déplacement total de l'alternative 9 (min.)	16.00	116.00	60.59	28.75
	ch_temps_total_10	Temps de déplacement total de l'alternative 10 (min.)	38.00	128.00	71.92	25.19
	ch_temps_total_12	Temps de déplacement total de l'alternative 12 (min.)	95.00	315.00	173.55	61.80
	ch_temps_total_13	Temps de déplacement total de l'alternative 13 (min.)	60.00	252.00	164.00	57.48
	ch_temps_total_14	Temps de déplacement total de l'alternative 14 (min.)	54.00	155.00	98.22	31.51
	ch_temps_total_15	Temps de déplacement total de l'alternative 15 (min.)	10.00	60.00	26.00	18.08
	ch_temps véhicule_2	Temps à bord du véhicule de l'alternative 2 (min.)	0.00	222.00	57.29	35.25
	ch_temps véhicule_4_5_7_11	Temps à bord du véhicule des alternatives 4,5,7 et 11 (min.)	12.00	248.00	71.63	35.45
	ch_temps_access_egress_2	Temps de rabattement et de diffusion de l'alt. 2 (min.)	0.00	107.00	36.18	13.93
	ch_temps_access_egress_4	Temps de rabattement et de diffusion de l'alt. 4 (min.)	10.00	550.00	135.21	89.31
	ch_temps_access_egress_5_7	Temps de rabattement et de diffusion de l'alt. 5 et 7 (min.)	10.00	517.00	71.39	66.19
	ch_temps_access_egress_11	Temps de rabattement et de diffusion de l'alt. 11 (min.)	23.00	193.00	86.37	40.85
	ch_nb_transfers_2	Nombre de transferts total de la chaîne de l'alt. 2 (min.)	0.00	6.00	1.17	1.13
	ch_duree_activite_1	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 1 (min.)	-65.00	1327.00	378.57	235.83
	ch_duree_activite_2	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 2 (min.)	-115.00	869.00	367.57	172.13
	ch_duree_activite_3	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 3 (min.)	-36.00	1129.00	354.77	212.78
	ch_duree_activite_4	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 4 (min.)	-397.00	781.00	344.95	142.26
	ch_duree_activite_5	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 5 (min.)	27.00	778.00	434.41	126.19
	ch_duree_activite_6	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 6 (min.)	-455.00	740.00	233.63	204.78
	ch_duree_activite_7	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 7 (min.)	-482.00	681.00	395.26	176.05
	ch_duree_activite_8	Durée de l'activité lorsque effectué avec alternative 8 (min.)	-154.00	817.00	376.15	214.90
	ch_mode_ancre_1_5_8	Premier déplacement: mode avec ancrage (0 ou 1)	1.00	1.00	1.00	0.00

### 4.2.1.1 Calcul des temps de déplacement

#### 4.2.1.1.1 Automobile, vélo et marche

Le temps de déplacement des modes automobile, vélo et marche a été déterminé à partir d'un outil de calcul de chemin routier automatisé et basé sur le réseau OSM, développé à partir du code de Luxen et Vetter (2011) et modifié par Pierre-Léo Bourbonnais. En attribuant une vitesse moyenne à chacun des modes, le calculateur détermine le plus court chemin tout en tenant compte de la signalisation routière. Les segments effectués en voiture pour les séquences bimodales ont également été calculés ainsi.

#### 4.2.1.1.2 Transport en commun

Un outil développé à partir du code de Dibbelt et *al.* (2013) et modifié par Pierre-Léo Bourbonnais permet également d'estimer un temps de déplacements en transport en commun à partir des données GTFS. Les résultats détaillés de l'estimation permettent de décortiquer le temps de déplacement total en ses différentes composantes : temps de marche, temps d'attente et temps à bord du véhicule. Le nombre de transferts est également offert.

#### 4.2.1.1.3 Train

Afin de calculer le temps de train, nous considérons que le rabattement et la diffusion sont effectués à la marche. Le choix des stations de train de départ et d'arrivée a été déterminé en fonction de celle étant la plus proche de l'origine et de la destination. Ensuite une matrice des temps de déplacement entre les stations a été calculée avec l'horaire du train. C'est à partir de celle-ci que le temps de transport à bord du train a été obtenu. Cette matrice est aussi utilisée lors du calcul du temps de déplacements des séquences bimodales où un segment est effectué en train.

### 4.2.1.2 Calcul du coût monétaire des différentes alternatives

#### 4.2.1.2.1 Auto

Le prix moyen de l'essence pour la région de Montréal selon la Régie de l'énergie est de 137,7 sous par litre en janvier 2014 (Québec, 2014). La consommation moyenne des véhicules selon un article du magazine Protégez-Vous se basant sur les données de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis est de 8L/100km (Berg, 2014; EPA, 2014). Les statistiques sur la consommation de 2014 sont considérées malgré le fait que les données datent de 2008, car il est souhaité de garder une certaine constance au niveau du tarif des différentes alternatives. En effet,

en raison de l'inaccessibilité aux données de 2008 au niveau des tarifs de transport en commun, celles de 2014 sont utilisées.

#### 4.2.1.2.2 Train et transport en commun

Tel que mentionné ci-haut, étant donné que l'inaccessibilité des données de 2008 au niveau du train et transport en commun, les prix actuellement affichés par l'AMT pour les déplacements individuels sont considérés. Ainsi, un prix est déterminé pour un déplacement à partir d'une des huit zones de l'AMT selon la situation géographique du point d'origine. Notons que lorsqu'un individu est en possession d'un titre mensuel pour un mode donné, le tarif de ce mode n'est pas considéré puisque l'abonnement est considéré comme un investissement à long terme, ce qui complique l'établissement du prix unitaire du déplacement.

### 4.3 Modélisation

#### 4.3.1 Échantillon des données

Les données de l'EOD 2008 de la GRM extraites du corridor de train Vaudreuil-Hudson précédemment, une fois les aberrations exclues et les modes étudiés filtrés, se comptent au nombre de 8 888 déplacements, donc 4 444 chaînes (avant pondération). L'estimation des modèles se fait à partir d'environ 80% des données observées, déterminées de façon aléatoire, ce qui correspond à 7 100 déplacements et 3 550 chaînes. La simulation se fait à partir du 20% des données restantes, mais ici elles sont pondérées, ce qui correspond à 39 969 déplacements et 19 938 chaînes de déplacements. Précisons que les données estimées et simulées correspondent entre les échantillons de déplacements et de chaînes afin de permettre la comparaison.

#### 4.3.2 Définition des modèles

Les deux modèles élaborés pour cette étude de cas sont des modèles de choix discret MNL tel que décrit à la revue de littérature (section 2.2.3). En résumé, ils reposent sur le fait qu'un individu  $q$  souhaite maximiser son utilité  $U$  parmi différentes alternatives. Un individu choisira donc l'alternative  $j$  si  $U_{jq} \geq U_{iq} \forall j \neq i$ . Ainsi, la probabilité qu'un individu choisisse l'alternative  $j$  parmi l'ensemble d'alternatives  $\mathbf{A}$  est exprimé comme suit :

$$P_{jq} = \frac{e^{\beta U_{jq}}}{\sum_{A,i \in A} e^{\beta U_{iq}}}$$

Étant donné que le chercheur ne peut connaître exactement l'utilité  $U$ , le concept d'utilité représentative est utilisé selon  $U_{jq} = V_{qj} + \varepsilon_{qj}$ . Les différentes variables décrites précédemment permettent ainsi de calculer  $V_{qj}$ . Rappelons que dans le cadre du modèle MNL, l'erreur est distribuée selon la loi de Gumbel, qui constitue une bonne approximation de la loi normale.

### 4.3.3 Cadre de la modélisation : la structure spatio-temporelle reste la même

Avant de faire un déplacement, un individu est confronté à différents choix dont celui de l'activité, le type de chaîne et le mode de déplacement. Ce modèle s'intègre seulement dans le cadre du choix du mode. Il est donc considéré que l'individu a choisi préalablement le choix de ses activités, leurs destinations et le type de chaîne qu'il effectuera, des variables qui ont un effet important sur le choix modal. Ainsi lors de la simulation, par rapport au comportement observé d'un individu, le mode est le seul élément qui peut varier alors que la structure spatio-temporelle de la chaîne reste la même (heures de départ et destinations), car les choix imbriqués préalablement ont déjà été fixés.

Il est possible que la structure intrinsèque du modèle ne soit pas nécessairement vraie et qu'en réalité si un individu doit effectuer les déplacements d'une chaîne avec des modes autres que ceux réellement choisis, l'heure des départs, la durée des activités, les destinations et le choix de faire ou non un déplacement sont tous des paramètres qui pourraient changer. En effet, chacun des choix auxquels est confronté un individu peuvent influencer les autres. Par exemple, si une journée une personne décide de prendre sa voiture pour aller travailler plutôt que d'utiliser le transport en commun comme à son habitude, elle pourrait décider de faire exceptionnellement une activité supplémentaire plutôt que de faire sa traditionnelle chaîne simple (domicile – travail – domicile). Cette structure constitue une limite qui sera discutée en conclusion.

### 4.3.4 Estimation des modèles

Les modèles sont estimés à l'aide du logiciel à source ouverte BIOGEME (2003). Les résultats obtenus sont les coefficients de probabilité des différentes variables utilisées pour estimer le modèle. En multipliant ces coefficients avec leur coefficient respectif au sein de la fonction d'utilité, on obtient la probabilité pour un mode d'être choisi par rapport aux autres. Les différentes fonctions d'utilité des alternatives disponibles sont présentées aux Tableau 4.5 et Tableau 4.11. Le Tableau 4.7 et le Tableau 4.12 présentent les résultats des estimations du

modèle basé sur les déplacements et de celui basé sur les chaînes. Après plusieurs dizaines de tests, certaines variables ont été éliminées car elles sont jugées non significatives en se basant sur leur test-T et leur signe (positif ou négatif). En les éliminant de la fonction d'utilité des alternatives concernées, elles agissent alors comme référence pour les alternatives dont ces variables demeurent significatives. D'autres variables ont été croisées afin de permettre une analyse plus détaillée. Notons que certains des paramètres de cette section peuvent ne pas être significatifs en raison d'un test P supérieur à 0,05. On remarque que ces paramètres sont principalement ceux pour lesquels la contrainte du test-T a été assouplie afin de ne pas éliminer des variables jugées importantes à l'estimation du modèle.

Tableau 4.5 Fonctions d'utilité des alternatives du modèle basé sur les déplacements

		1. AC	2. AP	3. TC	4. MA	5. VE	6. TR	7. PR	8. KR
Constantes	ASC_AC	X							
	ASC_AP		X						
	ASC_KRTR								X
	ASC_MA				X				
	ASC_PRTR							X	
	ASC_TC			X					
	ASC_TR						X		
	ASC_VE					X			
Variables sociodémographiques	AGE_0_15			X					
	AGE_16_24	X	X		X	X	X		
	AGE_25_64		X	X			X	X	X
	AGE_65_PLUS	X							
	PERMIS_OUI		X						
	SEXE_F		X	X	X		X	X	X
	M_AUTOLOGI	X	X						
	M_NB_ADULTES		X		X	X	X		
	M_NB_ENFANTS_AUTRE	X	X						

Tableau 4.6 Fonctions d'utilité des alternatives du modèle basé sur les déplacements (suite)

		1. AC	2. AP	3. TC	4. MA	5. VE	6. TR	7. PR	8.KR
Variables du déplacement	COUT_TOTAL	X		X			X	X	X
	DIST_TOTAL				X	X			
	DUREE_ACTIVITE_AUTRE	X	X	X			X	X	
	MOTIF_TRAV_ETU	X	X				X	X	X
	NB_TRANSFERS			X					
	TEMPS_ACCESS_EGRESS			X			X	X	X
	TEMPS_ATTENTE			X					
	TEMPS_TOTAL	X	X						
	TEMPS_VEHICULE			X					

Tableau 4.7 Résultats du modèle basé sur les déplacements

Name	Value	Robust Std err	Robust t-test	p-value
ASC_AC	0.0000			
ASC_AP	-1.3200	0.2570	-5.1200	0.0000
ASC_KRTR	-1.2200	0.4780	-2.5400	0.0100
ASC_MA	1.1900	0.5570	2.1300	0.0300
ASC_PRTR	-1.3000	0.5580	-2.3300	0.0200
ASC_TC	3.6600	0.4040	9.0600	0.0000
ASC_TR	1.2000	0.7080	1.6900	0.0900
ASC_VE	-3.8600	0.5980	-6.4600	0.0000
AGE_0_15 et AGE_25_64 (alt. 1)	0.0000			
AGE_16_24_1	-0.5660	0.3510	-1.6100	0.1100
AGE_65_PLUS_1	0.3550	0.2740	1.3000	0.1900
AGE_0_15 et AGE_65_PLUS (alt. 2)	0.0000			
AGE_16_24_2	-0.7910	0.2790	-2.8300	0.0000
AGE_25_64_2	-1.3000	0.2620	-4.9500	0.0000
AGE_16_24 et AGE_65 (alt. 3)	0.0000			
AGE_0_15_3	-1.4800	0.2940	-5.0200	0.0000
AGE_25_64_3	-0.7750	0.3310	-2.3400	0.0200

Tableau 4.8 Résultats du modèle basé sur les déplacements (suite)

<i>Name</i>	<i>Value</i>	<i>Robust Std err</i>	<i>Robust t-test</i>	<i>p-value</i>
<i>AGE_0_15, AGE_25_64 et AGE_65 (alt. 4)</i>	0.0000			
<i>AGE_16_24_4</i>	-0.7970	0.5930	-1.3400	0.1800
<i>AGE_0_15, AGE_25_64 et AGE_65 (alt. 5)</i>	0.0000			
<i>AGE_16_24_5</i>	1.1200	0.4610	2.4200	0.0200
<i>AGE_0_15 et AGE_65 (alt. 6)</i>	0.0000			
<i>AGE_16_24_6</i>	0.4850	0.5640	0.8600	0.3900
<i>AGE_25_64_6</i>	1.4200	0.4560	3.1100	0.0000
<i>AGE_0_15, AGE_16_24 et AGE_65 (alt. 7)</i>	0.0000			
<i>AGE_25_64_7</i>	0.9820	0.4650	2.1100	0.0300
<i>AGE_0_15, AGE_16_24 et AGE_65 (alt. 8)</i>	0.0000			
<i>AGE_25_64_8</i>	-0.6850	0.4140	-1.6500	0.1000
<i>COUT_TOTAL (alt. 4,5)</i>	0.0000			
<i>COUT_TOTAL_1_2_3_6_7_8</i>	-0.9180	0.0363	-25.3200	0.0000
<i>DIST_TOTAL (alt. 1,2,3,6,7,8)</i>	0.0000			
<i>DIST_TOTAL_4</i>	-0.0025	0.0003	-7.5100	0.0000
<i>DIST_TOTAL_5</i>	-0.0003	0.0001	-2.5900	0.0100
<i>DUREE_ACTIVITE_AUTRE (alt. 4,5,8)</i>	0.0000			
<i>DUREE_ACTIVITE_AUTRE_1</i>	0.0035	0.0027	1.3000	0.1900
<i>DUREE_ACTIVITE_AUTRE_2</i>	0.0061	0.0027	2.2500	0.0200
<i>DUREE_ACTIVITE_AUTRE_3</i>	0.0067	0.0033	2.0600	0.0400
<i>DUREE_ACTIVITE_AUTRE_6</i>	-0.0057	0.0078	-0.7200	0.4700
<i>DUREE_ACTIVITE_AUTRE_7</i>	-0.0162	0.0089	-1.8200	0.0700
<i>MOTIF_AUTRE (alt. 1,2,6,7,8)</i>	0.0000			
<i>MOTIF_TRAV_ETU_1</i>	-0.4460	0.1180	-3.7700	0.0000
<i>MOTIF_TRAV_ETU_2</i>	-0.5640	0.1340	-4.2100	0.0000
<i>MOTIF_TRAV_ETU_6</i>	0.5930	0.2890	2.0500	0.0400
<i>MOTIF_TRAV_ETU_7</i>	1.2900	0.3190	4.0400	0.0000
<i>MOTIF_TRAV_ETU_8</i>	0.9980	0.3630	2.7500	0.0100
<i>M_AUTOLOGI (alt. 3,4,5,6,7,8)</i>	0.0000			
<i>M_AUTOLOGI_1_2</i>	0.4830	0.0730	6.6200	0.0000

Tableau 4.9 Résultats du modèle basé sur les déplacements (suite)

<i>Name</i>	<i>Value</i>	<i>Robust Std err</i>	<i>Robust t-test</i>	<i>p-value</i>
<b>M_NB_ADULTES (alt. 1,3,7,8)</b>	0.0000			
<b>M_NB_ADULTES_2</b>	0.1710	0.0507	3.3800	0.0000
<b>M_NB_ADULTES_4</b>	0.5630	0.1940	2.9000	0.0000
<b>M_NB_ADULTES_5</b>	0.5740	0.1910	3.0000	0.0000
<b>M_NB_ADULTES_6</b>	0.3440	0.1400	2.4600	0.0100
<b>M_NB_ENFANTS_AUTRE (alt. 3,4,5,6,7,8)</b>	0.0000			
<b>M_NB_ENFANTS_AUTRE_1</b>	0.4230	0.1600	2.6500	0.0100
<b>M_NB_ENFANTS_AUTRE_2</b>	0.2750	0.1530	1.8000	0.0700
<b>NB_TRANSFERS (alt. 1,2,4,5,6,7,8)</b>	0.0000			
<b>NB_TRANSFERS_3</b>	-0.1280	0.0970	-1.3200	0.1900
<b>PERMIS_NON (alt. 2)</b>	0.0000			
<b>PERMIS_OUI_2</b>	-0.5600	0.1690	-3.3100	0.0000
<b>SEXE_H (alt. 2)</b>	0.0000			
<b>SEXE_F_2</b>	1.0700	0.1010	10.6000	0.0000
<b>SEXE_F (alt. 3,4,6,7,8)</b>	0.0000			
<b>SEXE_H_3</b>	-0.4270	0.1180	-3.6100	0.0000
<b>SEXE_H_4</b>	-1.0800	0.2680	-4.0400	0.0000
<b>SEXE_H_6</b>	-1.0700	0.2750	-3.9100	0.0000
<b>SEXE_H_7</b>	-0.8810	0.2610	-3.3800	0.0000
<b>SEXE_H_8</b>	-0.8360	0.3280	-2.5500	0.0100
<b>TEMPS_ACCESS_EGRESS (alt. 1,2,4,5)</b>	0.0000			
<b>TEMPS_ACCESS_EGRESS_3</b>	-0.0681	0.0104	-6.5300	0.0000
<b>TEMPS_ACCESS_EGRESS_6</b>	-0.0669	0.0200	-3.3400	0.0000
<b>TEMPS_ACCESS_EGRESS_7_8</b>	0.0103	0.0083	1.2400	0.2100
<b>TEMPS_ATTENTE (alt. 1,2,4,5,6,7,8)</b>	0.0000			
<b>TEMPS_ATTENTE_3</b>	-0.0413	0.0174	-2.3700	0.0200
<b>TEMPS_TOTAL (alt. 3,4,5,6,7,8)</b>	0.0000			
<b>TEMPS_TOTAL_1</b>	-0.0356	0.0118	-3.0100	0.0000
<b>TEMPS_TOTAL_2</b>	-0.1730	0.0127	-13.6300	0.0000

Tableau 4.10 Résultats du modèle basé sur les déplacements (suite)

<b>Name</b>	<b>Value</b>	<b>Robust Std err</b>	<b>Robust t-test</b>	<b>p-value</b>
<b>TEMPS_VEHICULE (alt. 1,2,4,5,6,7,8)</b>	0.0000			
<b>TEMPS_VEHICULE_3</b>	-0.0631	0.0051	-12.3800	0.0000
<b>STATISTIQUES DU MODÈLE</b>				
<b>FINAL LOG-LIKELIHOOD</b>	-3051.0950			
<b>LIKELIHOOD RATIO TEST</b>	6895.7980			
<b>AJUSTED R<sup>2</sup></b>	0.5220			
<b>NOMBRE D'OBSERVATIONS</b>	7100.0000			

Selon les résultats du modèle basé sur les déplacements individuels, on observe entre autres que :

- Parmi les conducteurs, les personnes de 16 à 24 ans ont le moins tendance à utiliser l'automobile conducteur, alors que ce sont les personnes âgées de 65 ans et plus qui l'utilisent le plus.
- Les personnes âgées de 25 à 64 ans sont les moins grands utilisateurs de l'automobile passager, suivi de la cohorte 16 à 24 ans.
- Les individus de moins de 16 ans ont moins tendance à utiliser le transport en commun par rapport aux autres groupes d'âge, suivi des 25 à 64 ans.
- Les personnes âgées de 16 à 24 ans utilisent moins la marche que les autres cohortes.
- Le vélo est le plus utilisé au sein de la cohorte des 16 à 24 ans.
- C'est parmi les 25 à 64 ans que le train est le plus utilisé, suivi de la cohorte des 16 à 24 ans.
- Les adultes de 25 à 64 ans constituent la cohorte la plus importante quant à l'utilisation du *Park and Ride*.
- Le *Kiss and Ride* est le moins utilisé chez les personnes de 25 à 64 ans.
- Le coût total lié à l'utilisation de l'automobile conducteur, le transport en commun, le train, le *Park and Ride* et le *Kiss and Ride* agit négativement sur l'utilisation de ces modes par rapport aux autres.

- La distance totale des déplacements effectués à la marche et en vélo a un effet négatif sur l'utilisation de ces modes par rapport aux autres.
- La durée d'une activité autre que « travail » ou « étude » semble favoriser l'utilisation de l'automobile passager et du transport en commun alors que plus la durée est longue et moins les séquences bimodales semblent préférées.
- Un déplacement ayant pour motif travail ou étude favorise l'utilisation des séquences bimodales et du train par rapport à un déplacement d'un autre motif. Par ailleurs, l'automobile conducteur et passager est davantage utilisée dans le cadre des déplacements de motif autre que travail et étude.
- Le nombre de voitures au sein du ménage agit positivement sur l'utilisation de l'automobile conducteur et automobile passager par rapport aux autres modes.
- Le nombre d'adultes au sein du ménage favorise d'abord l'utilisation du vélo, de la marche, du train et de l'automobile passager par rapport aux autres modes.
- Pour un déplacement de motif autre que « travail » et « étude », le nombre d'enfants agit d'abord positivement sur l'utilisation de l'automobile conducteur et de l'automobile passager.
- Le nombre de transferts effectués en transport en commun agit négativement sur l'utilisation de ce mode.
- L'automobile passager est moins utilisée chez les personnes qui ont un permis de conduire que chez celles qui n'en ont pas.
- Les femmes utilisent davantage l'automobile passager que les hommes.
- Les hommes utilisent moins le transport en commun, la marche, le train et les séquences bimodales que les femmes.
- Le temps de rabattement et de diffusion agit négativement sur l'utilisation du transport en commun et du train par rapport aux autres modes. Pourtant cette variable semble agir positivement sur l'utilisation des séquences bimodales, ce qui peut s'expliquer par sa mauvaise distribution des données. En effet, tel qu'illustrée à la Figure B.4 et Figure B.5

en Annexe B, la distribution de cette variable pour le *Park and Ride* et le *Kiss and Ride* comporte des données extrêmes très éloignées de la moyenne.

- Le temps d'attente a un effet négatif sur l'utilisation du transport en commun.
  - Le temps total de déplacement semble avoir un effet négatif sur l'utilisation de l'automobile passager et conducteur par rapport aux autres modes.
  - Finalement, le temps de déplacement à bord du véhicule en transport en commun agit négativement sur son utilisation par rapport aux autres modes.

Tableau 4.11 Fonctions d'utilité des alternatives du modèle basé sur les chaînes

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		AC-AC	TC-TC	AP-AP	TR-TR	PR-PR	MA-MA	KR-KR	VE-VE	AP-TC	TC-AP	KR-TR	TC-TR	TR-TC	TR-AP	AP-MA
Constantes	ASC_AC_AC	X														
	ASC_KRTR_KRTR								X							
	ASC_TC_TC		X													
	ASC_VE_VE									X						
Variables sociodémographiques	P_AGE_25_64	X														
	P_SEXE_F			X												
	P_SEXE_H	X	X													
	P_SEXE_H_PERMIS_OUI			X												
	P_STATUT_TRAV_ETU		X	X												
	NB_ENFANT_MOTIF_AUTRE	X		X												
	M_AUTOLOGI	X		X		X		X		X	X	X			X	
	M_NB_ADULTE	X	X	X		X	X	X	X			X				
Variables de la chaîne	CH_COUT_TOTAL	X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X	
	CH_DIST_TOTAL						X		X							
	CH_DUREE_ACT_AUTRE	X	X	X			X		X							
	CH_MOTIF_TRAVAIL_ETUDE		X													
	CH_NB_TRANSFERS		X							X	X		X	X		
	CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS		X		X	X		X				X				
	CH_TEMPS_TOTAL	X		X									X	X	X	
	CH_TEMPS_VEHICLE		X		X	X		X				X		X	X	
	MODE_ANCRAGE	X			X				X							

Tableau 4.12 Résultats du modèle basé sur les chaînes

<i>Name</i>	<i>Value</i>	<i>Robust Std err</i>	<i>Robust t-test</i>	<i>p-value</i>
<b>ASC (alt. 2,4,5,6 et 9 à 15)</b>	0.00000			
ASC_1	0.47500	0.22700	2.09000	0.04000
ASC_2	0.39500	0.41100	0.96000	0.34000
ASC_7	-0.31800	0.44300	-0.72000	0.47000
ASC_8	-0.37200	0.51900	-0.72000	0.47000
<b>NB_ENFANT_MOTIF_AUTRE (alt. 2 et 4 à 15)</b>	0.00000			
NB_ENFANT_MOTIF_AUTRE_1	0.28100	0.10300	2.72000	0.01000
NB_ENFANT_MOTIF_AUTRE_3	0.31400	0.11600	2.70000	0.01000
<b>CH_COUT_TOTAL (alt. 2,6,8,15)</b>	0.00000			
CH_COUT_TOTAL_1_3_4_5_7_9_10_11_12_13_14	-0.07520	0.00708	-10.62000	0.00000
<b>CH_DIST_TOTAL (alt. 1 à 5 et 9 à 15)</b>	0.00000			
CH_DIST_TOTAL_6	0.00070	0.00015	4.61000	0.00000
CH_DIST_TOTAL_8	0.00009	0.00003	2.80000	0.01000
<b>CH_DUREE_ACT_AUTRE (alt. 4,5,7 et 9 à 15)</b>	0.00000			
CH_DUREE_ACT_AUTRE_1	0.00441	0.00156	2.83000	0.00000
CH_DUREE_ACT_AUTRE_2	0.01010	0.00261	3.87000	0.00000
CH_DUREE_ACT_AUTRE_3	0.00694	0.00179	3.88000	0.00000
CH_DUREE_ACT_AUTRE_6	0.00693	0.00295	2.35000	0.02000
CH_DUREE_ACT_AUTRE_8	-0.00388	0.00421	-0.92000	0.36000
<b>CH_MOTIF_AUTRE (alt. 2)</b>	0.00000			
CH_MOTIF_TRAVAIL_ETUDE_2	0.52200	0.27700	1.89000	0.06000
<b>CH_NB_TRANSFERS (alt. 1,3,4,5,6,7,8,14,15)</b>	0.00000			
CH_NB_TRANSFERS_2_9_10_12_13	-0.13800	0.06330	-2.19000	0.03000
<b>CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS (1,3,6,8,9,10 et 12 à 15)</b>	0.00000			
CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_11	0.01580	0.00764	2.07000	0.04000
CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_2	0.03550	0.00640	5.55000	0.00000
CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_4	0.04270	0.00376	11.37000	0.00000
CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_5_7	0.02810	0.00688	4.08000	0.00000

Tableau 4.13 Résultats du modèle basé sur les chaînes (suite)

<b>Name</b>	<b>Value</b>	<b>Robust Std err</b>	<b>Robust t-test</b>	<b>p-value</b>
<b>CH_TEMPS_TOTAL (alt. 2 et 4 à 11)</b>	0.00000			
CH_TEMPS_TOTAL_1_3	-0.00501	0.00545	-0.92000	0.36000
CH_TEMPS_TOTAL_12	0.02170	0.00260	8.35000	0.00000
CH_TEMPS_TOTAL_13	0.02050	0.00278	7.37000	0.00000
CH_TEMPS_TOTAL_14	0.02240	0.00537	4.17000	0.00000
CH_TEMPS_TOTAL_15	0.04950	0.02110	2.34000	0.02000
<b>CH_TEMPS_VEHICULE (alt. 1,3,6,8,9,10 et 12 à 15)</b>	0.00000			
CH_TEMPS_VEHICULE_2	-0.00203	0.00255	-0.80000	0.43000
CH_TEMPS_VEHICULE_4_5_7_11	0.04340	0.00443	9.81000	0.00000
<b>M_AUTOLOGI (alt. 2,4,6,8,12,13)</b>	0.00000			
<b>M_AUTOLOGI_1_3_5_7_9_10_11_14_15</b>	0.13900	0.07180	1.94000	0.05000
<b>M_NB_ADULTE (alt. 4,9,10 et 12 à 15)</b>	0.00000			
M_NB_ADULTE_1	0.10800	0.09190	1.17000	0.24000
M_NB_ADULTE_11	-0.19300	0.14800	-1.30000	0.19000
M_NB_ADULTE_2	0.44400	0.10500	4.22000	0.00000
M_NB_ADULTE_3	0.53000	0.09210	5.76000	0.00000
M_NB_ADULTE_5	-0.41100	0.12500	-3.29000	0.00000
M_NB_ADULTE_6	0.61600	0.17600	3.51000	0.00000
M_NB_ADULTE_7	-0.27100	0.18800	-1.44000	0.15000
M_NB_ADULTE_8	-0.28300	0.22700	-1.24000	0.21000
<b>MODE_SANS_ANCRAGE (alt. 1,5,8)</b>	0.00000			
<b>MODE_ANCRAGE_1_5_8</b>	4.31000	0.07870	54.75000	0.00000
<b>P AGE_0_15, P AGE_16_24, P AGE_65_PLUS (alt. 1)</b>	0.00000			
P AGE_25_64_1	0.66100	0.11200	5.89000	0.00000
<b>P_SEXE_H (alt. 3)</b>	0.00000			
P_SEXE_F_3	0.31700	0.20600	1.54000	0.12000
<b>P_SEXE_F (alt.1,2)</b>	0.00000			
P_SEXE_H_1	0.31900	0.13900	2.30000	0.02000
P_SEXE_H_2	0.16700	0.17700	0.94000	0.35000

Tableau 4.14 Résultats du modèle basé sur les chaînes (suite)

<b>Name</b>	<b>Value</b>	<b>Robust Std err</b>	<b>Robust t-test</b>	<b>p-value</b>
<b>P_SEXE_F_PERMIS_NON (alt. 3)</b>	0.00000			
<b>P_SEXE_H_PERMIS_OUI_3</b>	-0.41100	0.23700	-1.73000	0.08000
<b>P_STATUT_AUTRE (alt.2,3)</b>	0.00000			
<b>P_STATUT_TRAV_ETU_2</b>	0.28400	0.24600	1.15000	0.25000
<b>P_STATUT_TRAV_ETU_3</b>	0.27600	0.15100	1.83000	0.07000
<b>STATISTIQUES DU MODÈLE</b>				
<b>FINAL LOG-LIKELIHOOD</b>	-1253.56800			
<b>LIKELIHOOD RATIO TEST</b>	6995.13000			
<b>AJUSTED R<sup>2</sup></b>	0.72700			
<b>NOMBRE D'OBSERVATIONS</b>	3550.0000			

Selon les résultats du modèle basé sur les chaînes de déplacements, on observe entre autres que :

- Pour une chaîne de motif autre que « travail » et « étude », le nombre d'enfants agit positivement sur l'utilisation d'une séquence AC-AC ou AP-AP.
- Le coût total des alternatives AC-AC, AP-AP, TR-TR, PR-PR, KR-KR, AP-TC, TC-AP, KR-TR, TC-TR, TR-TC et TR-AP a un effet négatif sur l'utilisation de ces séquences modales par rapport aux autres.
- La distance totale des chaînes MA-MA et VE-VE décourage leur utilisation par rapport aux autres séquences.
- Pour un motif autre que « travail » et « étude », la durée de l'activité semble agir négativement sur l'utilisation de la séquence VE-VE alors qu'elle agit positivement sur celles des séquences TC-TC, AP-AP, MA-MA et AC-AC.
- Les chaînes de séquence TC-TC ont tendance à être plus fréquentes pour les chaînes de motif travail et étude que pour celles d'un motif autre.
- Le nombre de transferts a un effet négatif pour les chaînes dont au moins un déplacement est effectué en transport en commun par rapport aux autres séquences modales.

- Il est étonnant de constater que le temps de rabattement et éclatement des alternatives KR-TR, TC-TC, TR-TR, PR-PR et KR-KR agit positivement sur l'utilisation de ces séquences par rapport aux autres. La distribution des données de cette variable pour ces alternatives peut être en cause étant donné que certaines possèdent trop de données extrêmes (TC-TC, TR-TR, PR-PR et KR-KR), c'est-à-dire éloignées par rapport à la moyenne de l'ensemble de données, alors que d'autres n'ont tout simplement pas assez de données (KR-TR). L'Annexe B présente les histogrammes de distribution des variables mentionnées.
- Le temps total semble lui aussi être erroné car à l'exception du temps total des alternatives AC-AC et AP-AP, qui agit négativement sur leur utilisation par rapport aux autres modes, le temps total des autres alternatives agit positivement sur le choix de celles-ci (TC-TR, TR-TC, TR-AP, AP-MA). Encore ici, une mauvaise distribution des données peut être en cause étant donné le manque de données pour ces alternatives. Les histogrammes des variables mentionnées se trouvent également à l'Annexe B.
- Le temps de déplacement à bord du véhicule a un effet négatif sur l'utilisation de la séquence modale TC-TC. Étonnamment, cette variable semble avoir un effet positif sur l'utilisation des alternatives TR-TR, PR-PR, KR-KR et KR-TR. Cela peut s'expliquer en partie en raison des données extrêmes observées dans la distribution de cette variable à la Figure B.24 en Annexe B. Néanmoins, une hypothèse serait qu'en raison de la valorisation du temps de déplacement, une variable encore peu étudiée, le temps à bord du train n'est pas considéré négativement par les usagers, car il permet d'accomplir différentes tâches, ce qui n'est pas aussi simple à bord d'un autobus ou d'un wagon de métro. Une seconde hypothèse est que le déplacement doit être suffisamment long pour que cela vaille la peine de faire une correspondance d'un mode privé vers le transport en commun. En effet, le transport en commun est moins attractif s'il reste cinq minutes à faire plutôt que s'il reste une heure. L'utilisation d'une séquence bimodale serait donc positivement corrélée avec le temps de déplacement à bord du véhicule.
- Le nombre de voitures au domicile agit positivement sur l'utilisation des séquences impliquant l'automobile conducteur ou l'automobile passager.

- Le nombre d'adultes d'un ménage semble avoir une influence positive sur l'utilisation des alternatives MA-MA, TC-TC, AP-AP et AC-AC. Néanmoins, elle est négative en ce qui concerne les alternatives PR-PR, KR-KR, VE-VE et KR-TR.
- Avec évidence, l'utilisation des séquences AC-AC, PR-PR et VE-VE est la plus commune lorsque le premier déplacement est effectué à partir d'un mode avec ancrage.
- Les personnes entre l'âge de 25 et 64 ans ont tendance à utiliser davantage l'alternative AC-AC pour compléter une chaîne par rapport aux autres tranches d'âge.
- Les femmes ont tendance à utiliser davantage l'alternative AP-AP que les hommes.
- Les hommes sont de plus grands utilisateurs des alternatives AC-AC et TC-TC que les femmes.
- L'alternative AP-AP est moins utilisée par les hommes ayant un permis de conduire que par les femmes n'en ayant pas.
- Une personne dont le statut est « travailleur à temps plein » ou « étudiant » a tendance à utiliser davantage les alternatives TC-TC et AP-AP qu'une personne dont le statut est d'une catégorie autre.

On observe sur le Tableau 4.12 que les signes en lien avec les temps de déplacements ne sont pas tous ceux auxquels on se serait attendu pour le modèle basé sur les chaînes. Effectivement, les signes des coefficients du temps de rabattement et de diffusion (CH\_TEMPS\_ACCESS\_EGRESS) des différents modes pour lesquels cette variable est utilisée sont positifs. Également, les signes du temps total de déplacement sont pratiquement tous positifs à l'exception de celui de l'automobile conducteur et automobile passager. Malgré tout, ces variables sont utilisées au sein de la fonction d'utilité de ces différents modes, car elles sont généralement considérées comme des variables ayant un effet important sur le choix d'un individu d'utiliser les transports en commun ou les modes individuels. Aussi, étant donné que l'on souhaite établir une comparaison entre le modèle basé sur les déplacements par rapport à celui basé sur les chaînes et que les différents paramètres du temps de déplacements du premier modèle sont significatifs, cela justifie la décision de garder ces variables.

#### 4.3.4.1 Corrélation entre les paramètres

Le programme BIOGEME (2003) offre une table de corrélation entre les coefficients au sein des résultats de l'estimation du modèle. Le Tableau 4.15 et le Tableau 4.16 présentent les résultats de ce test de corrélation lorsque l'indicateur de Pearson est supérieur à 0,4. Étant donné que dans la plupart des cas les coefficients corrélés impliquent la constante (ASC) de la fonction d'utilité, aucun traitement particulier n'est effectué. Néanmoins, le fait que cette étape ait été négligée constitue sans aucun doute une erreur dans l'élaboration des modèles. Celle-ci sera discutée dans les limites du projet de recherche en conclusion du document.

Il est normal que les constantes soient corrélées avec les paramètres des autres variables, car elles capturent l'effet des variables qui échappent au chercheur. Ainsi, cela signifie que parmi les variables qui demeurent inconnues par le chercheur, certaines sont fortement corrélées avec les variables connues et utilisées lors de l'élaboration du modèle.

Tableau 4.15 Table de corrélation des coefficients du modèle basé sur les déplacements

<b>Coefficient 1</b>	<b>Coefficient 2</b>	<b>Corrélation</b>
ASC_3	AGE_25_64_3	<b>-0.781</b>
ASC_4	M_NB_ADULTES_4	<b>-0.770</b>
ASC_5	M_NB_ADULTES_5	<b>-0.720</b>
AGE_16_24_1	AGE_65_PLUS_1	<b>0.712</b>
ASC_6	TEMPS_ACCES_6	<b>-0.628</b>
ASC_2	AGE_25_64_2	<b>-0.614</b>
AGE_16_24_6	AGE_25_64_6	<b>0.572</b>
AGE_0_15_3	AGE_25_64_3	<b>0.548</b>
AGE_16_24_4	M_NB_ADULTES_4	<b>-0.499</b>
ASC_4	DIST_TOTAL_4	<b>-0.488</b>
ASC_3	AGE_0_15_3	<b>-0.487</b>
ASC_5	DIST_TOTAL_5	<b>-0.479</b>
NUM_TRANSFERS_3	TEMPS_ATTENTE_3	<b>-0.473</b>
MOTIF_TRAV_ETU_7	TEMPS_ACCES_7_8	<b>0.464</b>
AGE_25_64_2	PERMIS_OUI_2	<b>-0.456</b>
ASC_6	AGE_25_64_6	<b>-0.436</b>
ASC_6	M_NB_ADULTES_6	<b>-0.424</b>
ASC_7	TEMPS_ACCES_7_8	<b>-0.424</b>
ASC_3	TEMPS_ACCES_3	<b>-0.422</b>
AGE_16_24_5	M_NB_ADULTES_5	<b>-0.421</b>
ASC_2	M_NB_ADULTES_2	<b>-0.412</b>

Tableau 4.16 Table de corrélation des coefficients du modèle basé sur les chaînes

<i>Coefficient 1</i>	<i>Coefficient 2</i>	<i>Corrélation</i>
CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_11	M_NB_ADULTE_11	<b>-0.786</b>
ASC_8	M_NB_ADULTE_8	<b>-0.753</b>
CH_DIST_TOTAL_6	M_NB_ADULTE_6	<b>-0.695</b>
ASC_1	M_NB_ADULTE_1	<b>-0.608</b>
CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_5_7	M_NB_ADULTE_5	<b>-0.591</b>
P_SEXE_F_3	P_SEXE_H_PERMIS_3	<b>0.578</b>
ASC_2	CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_2	<b>-0.525</b>
ASC_1	P_AGE_25_64_1	<b>-0.517</b>
ASC_8	CH_DIST_TOTAL_8	<b>-0.469</b>
M_NB_ADULTE_3	P_STATUT_TRAV_ETU_3	<b>-0.432</b>
CH_TEMPS_ACCESS_EGRESS_4	CH_TEMPS_VEHICULE_4_5_7_11	<b>-0.403</b>
M_NB_ADULTE_3	P_SEXE_F_3	<b>-0.403</b>

### 4.3.5 Comparaison et validation

Une fois les coefficients obtenus à partir de l'estimation du modèle basé sur les déplacements et celui basé sur les chaînes, la probabilité des différentes alternatives est calculée et le choix du mode de transport est simulé pour les différents modèles à partir de la méthode de Monte Carlo. Cette dernière consiste à déterminer la probabilité qu'un mode soit choisi parmi l'ensemble de choix à partir d'une valeur aléatoire.

Deux différentes méthodes ont été utilisées afin de comparer les résultats des simulations avec les observations de l'échantillon. La première se veut plus générale, car elle consiste en une comparaison de la part modale simulée et de la part modale observée. Ainsi, seulement la somme de la simulation est considérée. La seconde se veut plus spécifique au comportement de l'individu, car elle consiste à créer une table présentant le taux de succès de la simulation. On appelle cette table la matrice de confusion, car elle nous permet également d'observer les alternatives qui ont absorbé les mauvaises prédictions.

#### 4.3.5.1 Comparaison des parts modales

Afin de pouvoir établir une réelle comparaison entre les deux modèles, les résultats du modèle basé sur les chaînes sont analysés à l'échelle des déplacements. Ainsi, les alternatives de séquences modales des chaînes sont divisées et permettent d'étudier les résultats de la simulation à travers huit différents modes plutôt que onze différentes chaînes.

Une recalibration des constantes représentant l'erreur des différentes alternatives a été effectuée à cette étape. La recalibration des constantes selon la méthode suivante permet d'améliorer légèrement les résultats de la simulation sans effectuer de changements sur les variables et leurs paramètres. Il s'agit simplement de donner un peu plus de poids à l'erreur de certaines alternatives. Rappelons que ces constantes sont introduites au sein de la fonction d'utilité afin de capturer l'effet de variables qui n'ont pas été observées par le chercheur, mais qui ont tout de même influencé le décideur. Ainsi, il peut être utile d'ajuster les constantes des alternatives dont les simulations ne semblent pas correspondre aux observations. Pour ce faire, il est conseillé de prédire les parts modales avec les nouvelles constantes, de comparer avec les parts observées, au besoin ajuster les constantes à nouveau et répéter le processus jusqu'à ce que les parts simulées soient suffisamment près de celles observées (Train, 2009).

En suivant cette méthode de recalibration, deux constantes ont été ajustées dans chacun des modèles. Dans le modèle basé sur les déplacements, les constantes de la marche et du vélo (ASC\_MA et ASC\_VE) ont été ajustées de 1,19 à -6 et -3,86 à -11 respectivement. Pour le modèle basé sur les chaînes, les constantes des alternatives VE-VE et KR-KR ont été ajustées de -0,372 à -1 et -0,318 à -2,7 respectivement. Bien que même avec l'ajustement, les parts modales simulées des alternatives concernées ne sont pas aussi proches que souhaitées des parts observées, des itérations ont été effectuées jusqu'à ce que les résultats plafonnent.

Tableau 4.17 Comparaison de la part modale du modèle basé sur les déplacements

No	Alternative	Observé		Simulé		Différence	
		Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
1	Automobile conducteur	18350	45.9%	3889	9.7%	-14461	-78.8%
2	Automobile passager	5223	13.1%	1246	3.1%	-3977	-76.1%
3	Transport en commun	9381	23.5%	4528	11.3%	-4853	-51.7%
4	Marche	957	2.4%	7231	18.1%	6274	655.6%
5	Vélo	524	1.3%	5914	14.8%	5390	1028.6%
6	Train	3375	8.4%	6752	16.9%	3377	100.1%
7	Park and Ride	1441	3.6%	5416	13.6%	3975	275.9%
8	Kiss and Ride	718	1.8%	4993	12.5%	4275	595.4%
Total		<b>39 969</b>	<b>100.0%</b>	<b>39 969</b>	<b>100.0%</b>	-	-

Tableau 4.18 Comparaison de la part modale du modèle basé sur les chaînes

No	Alternative	Observé		Simulé		Différence	
		Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
<b>1</b>	Automobile conducteur	18220	45.7%	17896	44.9%	-324	-1.8%
<b>2</b>	Automobile passager	5365	13.5%	4272	10.7%	-1093	-20.4%
<b>3</b>	Transport en commun	9334	23.4%	7986	20.0%	-1348	-14.4%
<b>4</b>	Marche	960	2.4%	1301	3.3%	341	35.5%
<b>5</b>	Vélo	526	1.3%	702	1.8%	176	33.5%
<b>6</b>	Train	3358	8.4%	4636	11.6%	1278	38.1%
<b>7</b>	Park and Ride	1442	3.6%	2048	5.1%	606	42.0%
<b>8</b>	Kiss and Ride	671	1.7%	1035	2.6%	364	54.2%
<b>Total</b>		<b>39 876</b>	<b>100.0%</b>	<b>39 876</b>	<b>100.0%</b>	-	-

En comparant les résultats des deux modèles, on remarque avec évidence que les parts modales des alternatives simulées du modèle basé sur les chaînes sont beaucoup plus près des parts observées que celles du modèle basé sur les déplacements. C'est le cas principalement de l'automobile conducteur qui montre un pourcentage d'erreur de seulement -1,8% à partir des chaînes, contre -78,8% à partir des déplacements. Il semble effectivement que la part de l'automobile conducteur pour le modèle basé sur les déplacements ait été absorbée par un autre mode, soit probablement le vélo, car sa part est fortement surestimée. Ainsi, de manière générale on observe une grande amélioration au niveau de la prédiction de la part modale à partir du modèle basé sur les chaînes, notamment en ce qui concerne les modes principaux, soit automobile conducteur, automobile passager, transport en commun, marche et vélo. Notons que la part modale du train semble également bien répondre.

#### 4.3.5.2 La matrice de confusion

Cette méthode de validation permet d'estimer de façon beaucoup plus juste si un modèle simule correctement le comportement des décideurs (les simulations justes se situant dans la diagonale de la matrice). Effectivement, la matrice de confusion comptabilise exactement les alternatives simulées qui correspondent à celles observées. Elle nous permet ensuite d'observer les alternatives qui absorbent les simulations incorrectes.

Tableau 4.19 Matrice de confusion du modèle basé sur les déplacements

		choix simulé								
choix observé		AC	AP	TC	MA	VE	TR	PR	KR	Total
AC	10.84%	1.41%	8.90%	18.83%	16.44%	17.78%	12.75%	13.04%	100%	
AP	10.89%	5.32%	9.50%	16.64%	11.49%	16.20%	16.08%	13.88%	100%	
TC	8.77%	5.82%	19.09%	16.10%	10.47%	14.70%	13.43%	11.62%	100%	
MA	35.01%	12.33%	11.60%	5.96%	1.78%	11.70%	12.85%	8.78%	100%	
VE	10.31%	2.10%	8.78%	20.99%	14.89%	18.13%	11.83%	12.98%	100%	
TR	2.58%	0.80%	8.62%	21.93%	23.64%	18.10%	13.24%	11.08%	100%	
PR	1.67%	0.42%	8.33%	22.76%	21.03%	21.93%	12.91%	10.96%	100%	
KR	1.11%	0.14%	5.43%	22.42%	16.57%	18.25%	22.01%	14.07%	100%	
Total	9.73%	3.12%	11.33%	18.09%	14.80%	16.89%	13.55%	12.49%	100%	

Tableau 4.20 Matrice de confusion du modèle basé sur les chaînes

		Choix simulé								
Choix observé		AC	AP	TC	MA	VE	TR	PR	KR	Total
AC	89.35%	2.34%	2.78%	0.44%	1.11%	1.31%	1.87%	0.80%	100%	
AP	7.72%	38.30%	25.13%	6.86%	2.42%	11.37%	3.69%	4.51%	100%	
TC	4.72%	14.83%	59.94%	3.92%	1.45%	8.79%	3.40%	2.96%	100%	
MA	5.63%	20.31%	15.00%	46.98%	0.42%	7.19%	2.50%	1.98%	100%	
VE	57.79%	0.00%	0.76%	1.14%	37.64%	0.76%	1.52%	0.38%	100%	
TR	1.34%	3.16%	5.99%	0.54%	0.42%	84.57%	2.44%	1.55%	100%	
PR	22.61%	0.97%	2.43%	0.00%	0.42%	0.35%	73.09%	0.14%	100%	
KR	4.77%	13.71%	22.65%	1.64%	1.94%	7.30%	3.73%	44.26%	100%	
Total	44.88%	10.71%	20.03%	3.26%	1.76%	11.63%	5.14%	2.60%	100%	

En comparant les résultats des deux modèles à partir de leur matrice de confusion respective, on observe que 12,74% des déplacements ont été correctement simulés à partir du modèle basé sur les déplacements par rapport à 72,15% avec le modèle basé sur les chaînes. La justesse des parts modales simulées se reflète au sein de la matrice de confusion, car ici encore les résultats sont particulièrement bons dans la simulation de l'automobile conducteur. En effet, 89,35% des déplacements observés dont le choix est automobile conducteur se sont également vus simuler ce mode. Néanmoins, même si les résultats du modèle basé sur les chaînes sont de loin meilleurs

que ceux du modèle basé sur les déplacements lorsqu'estimé avec environ 80% des mêmes variables, il reste que certains modes sont loin d'être bien simulés. Effectivement, l'automobile passager, la marche, le vélo et le *Kiss and Ride* présentent des taux de succès plutôt faibles, soit ne dépassant pas les 46,98%. Alors que pour la plupart de ces modes, les simulations erronées sont distribuées relativement également à travers les autres modes, celles du vélo semblent particulièrement absorbées par l'automobile conducteur, où 57,79% des déplacements observés en vélo ont plutôt été simulés en automobile conducteur. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que ces deux modes présentent des caractéristiques semblables, c'est-à-dire qu'ils sont disponibles pour les personnes n'ayant pas de permis de conduire et n'ont pas de coût monétaire particulier associé à leur utilisation. Néanmoins, le temps de déplacements en voiture est beaucoup plus court et la disponibilité du vélo se limite aux déplacements de moins de 5,7 km. En fait, à l'exception de l'automobile conducteur et du train, chaque mode observé se voit davantage simulé par un ou deux modes particuliers : l'automobile passager est absorbée par le transport en commun, le transport en commun par l'automobile passager, la marche par l'automobile passager et le transport en commun, le *Park and Ride* par l'automobile conducteur et le *Kiss and Ride* par le transport en commun.

#### **4.3.5.3 Validation des chaînes de déplacements**

Afin de bien comprendre les résultats du modèle basé sur les chaînes, le Tableau 4.21 et le Tableau 4.22 présentent les résultats de la simulation du modèle basé sur les chaînes de déplacements à l'échelle de la chaîne.

Tableau 4.21 Comparaison des alternatives de séquences modales du modèle basé sur les chaînes

No	Alternative	Observé		Simulé		Différence	
		Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
1	AC-AC	9110	45.7%	8948	44.9%	-162	-1.8%
2	TC-TC	4510	22.6%	3473	17.4%	-1037	-23.0%
3	AP-AP	2530	12.7%	1654	8.3%	-876	-34.6%
4	TR-TR	1516	7.6%	1704	8.5%	188	12.4%
5	PR-PR	721	3.6%	1024	5.1%	303	42.0%
6	MA-MA	471	2.4%	538	2.7%	67	14.2%
7	KR-KR	234	1.2%	321	1.6%	87	37.2%
8	VE-VE	263	1.3%	351	1.8%	88	33.5%
9	AP-TC	156	0.8%	241	1.2%	85	54.5%
10	TC-AP	83	0.4%	231	1.2%	148	178.3%
11	KR-TR	203	1.0%	393	2.0%	190	93.6%
12	TC-TR	21	0.1%	261	1.3%	240	1142.9%
13	TR-TC	54	0.3%	307	1.5%	253	468.5%
14	TR-AP	48	0.2%	267	1.3%	219	456.3%
15	AP-MA	18	0.1%	225	1.1%	207	1150.0%
Total		<b>19 938</b>	<b>100.0%</b>	<b>19 938</b>	<b>100.0%</b>	-	-

À partir du Tableau 4.21 on remarque que la différence entre la part modale observée et celle simulée est relativement faible pour les alternatives symétriques, c'est-à-dire dont les deux déplacements sont effectués à partir du même mode. Cette faible différence est particulièrement observée auprès des alternatives symétriques impliquant l'automobile conducteur, le train et la marche. Inversement, les alternatives qui ne sont pas symétriques montrent une différence importante entre le nombre de chaînes observées et simulées. Cette différence est d'autant plus importante pour les alternatives dont le nombre d'observations est inférieur à 150. Parallèlement, le grand nombre d'alternatives peut avoir un effet négatif sur l'estimation des paramètres de celles ayant un trop petit nombre d'observations. Effectivement, selon Cherchi et Ortuzar (2008) le nombre d'alternatives auxquelles sont confrontés les individus et la taille de l'échantillon peuvent avoir un effet important sur les résultats d'une simulation.

Tableau 4.22 Matrice de confusion des alternatives de séquences modales du modèle basé sur les chaînes

Alternative observée	Alternative simulée																Total
	AC-AC	TC-TC	AP-AP	TR-TR	PR-PR	MA-MA	KR-KR	VE-VE	AP-TC	TC-AP	KR-TR	TC-TR	TR-TC	TR-AP	AP-MA	Total	
AC-AC	89.35%	2.12%	1.80%	0.64%	1.87%	0.29%	0.64%	1.11%	0.22%	0.31%	0.32%	0.42%	0.38%	0.23%	0.32%	100%	
TC-TC	4.72%	55.94%	10.13%	4.15%	3.37%	2.75%	1.91%	1.37%	2.04%	2.17%	2.04%	2.17%	2.57%	2.53%	2.13%	100%	
AP-AP	7.91%	17.59%	32.85%	4.39%	3.48%	5.49%	2.92%	2.45%	3.60%	3.16%	3.16%	3.12%	3.68%	3.40%	2.81%	100%	
TR-TR	0.92%	3.17%	1.39%	85.49%	2.04%	0.26%	0.13%	0.20%	0.33%	0.20%	2.70%	1.19%	0.92%	0.92%	0.13%	100%	
PR-PR	22.61%	2.36%	0.97%	0.28%	73.09%	0.00%	0.14%	0.42%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	0.00%	0.00%	100%	
MA-MA	5.73%	9.55%	15.92%	2.34%	2.34%	46.07%	0.85%	0.42%	2.97%	1.70%	2.34%	2.12%	2.76%	2.34%	2.55%	100%	
KR-KR	4.27%	20.94%	12.39%	4.27%	4.70%	1.28%	35.47%	2.14%	1.28%	0.85%	3.42%	2.14%	2.56%	2.99%	1.28%	100%	
VE-VE	57.79%	0.38%	0.00%	0.38%	1.52%	1.14%	0.38%	37.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.38%	0.38%	0.00%	0.00%	100%	
AP-TC	5.77%	31.41%	16.67%	4.49%	0.64%	8.33%	4.49%	3.21%	3.85%	3.21%	3.85%	1.28%	7.05%	3.21%	2.56%	100%	
TC-AP	3.61%	45.78%	14.46%	6.02%	8.43%	2.41%	0.00%	1.20%	3.61%	3.61%	3.61%	2.41%	2.41%	1.20%	1.20%	100%	
KR-TR	5.91%	16.26%	5.91%	0.00%	1.48%	0.99%	1.48%	1.48%	1.97%	0.99%	59.11%	1.48%	0.99%	0.49%	1.48%	100%	
TC-TR	0.00%	4.76%	42.86%	0.00%	14.29%	4.76%	4.76%	4.76%	0.00%	0.00%	4.76%	14.29%	0.00%	4.76%	0.00%	100%	
TR-TC	5.56%	38.89%	16.67%	3.70%	3.70%	1.85%	0.00%	7.41%	1.85%	0.00%	0.00%	0.00%	18.52%	0.00%	1.85%	100%	
TR-AP	4.17%	2.08%	4.17%	27.08%	25.00%	2.08%	2.08%	0.00%	4.17%	4.17%	4.17%	2.08%	6.25%	12.50%	0.00%	100%	
AP-MA	0.00%	50.00%	0.00%	5.56%	11.11%	11.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.56%	0.00%	0.00%	16.67%	100%	
Total	44.88%	17.42%	8.30%	8.55%	5.14%	2.70%	1.61%	1.76%	1.21%	1.16%	1.97%	1.31%	1.54%	1.34%	1.13%	100%	

À partir du modèle basé sur les chaînes, 69,55% des alternatives de séquences modales observées ont été simulées correctement. La matrice de confusion au Tableau 4.22 présente des résultats semblables à ceux du Tableau 4.20, principalement au niveau des alternatives symétriques. Ainsi, le fait que les alternatives asymétriques ont de mauvais taux de réussite de simulation soutient l'hypothèse présentée précédemment voulant qu'elles soient mal représentées au sein de l'échantillon étant donné leur trop petit nombre d'observations au sein d'un modèle présentant un trop grand nombre de possibilités.

#### 4.3.6 Analyse des erreurs de simulation

Cette section présente l'analyse des simulations incorrectes effectuées à partir du modèle basé sur les chaînes de déplacements. L'étude des erreurs de la simulation permet de faire ressortir les classes d'individus ou de déplacements qui sont les moins bien représentés à partir du modèle et offre ainsi des indices quant aux limites et aux améliorations nécessaires afin d'obtenir de meilleurs résultats. Notons que la section suivante ne présente qu'une analyse du modèle basé sur les chaînes de déplacements, car c'est celui qui fait l'objet de cette étude. Le modèle basé sur les déplacements n'était utilisé qu'à des fins de comparaison.

#### 4.3.6.1 Motifs

On peut observer sur la Figure 4.5 que les déplacements qui appartiennent à une chaîne de motif « étude » sont proportionnellement plus importants au sein des simulations incorrectes effectuées à partir du modèle basé sur les chaînes de déplacements. On remarque d'ailleurs la surreprésentation des déplacements en automobile passager au sein de ce motif, ce qui pourrait expliquer sa proportion plus importante. Effectivement, tel qu'observé au Tableau 4.20 l'automobile passager fait partie de ces modes pour lesquels le taux de succès de la simulation est faible. Ainsi, il se peut que la part modale de l'automobile passager soit absorbée par celle du transport en commun et vice versa, ce qui expliquerait également la part importante de ce dernier au sein des simulations incorrectes du motif étude.

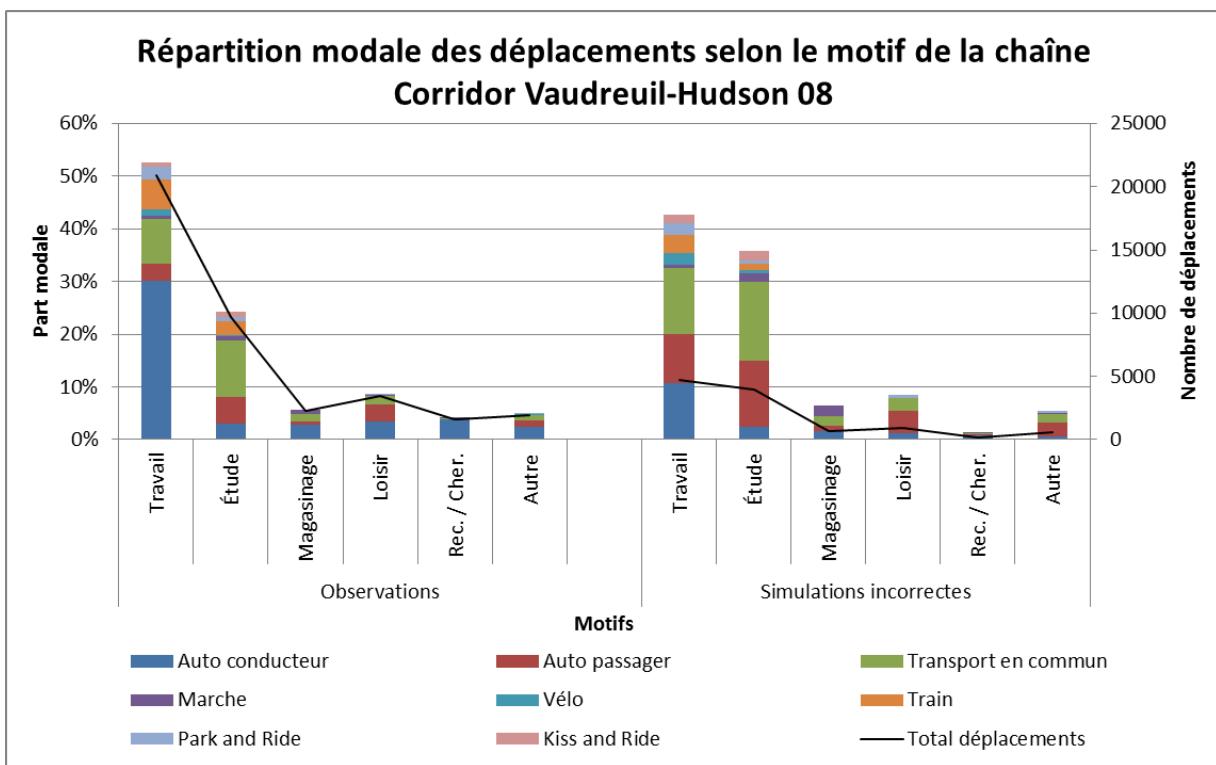


Figure 4.5 Répartition modale des déplacements selon le motif de la chaîne Corridor Vaudreuil-Hudson 08

#### 4.3.6.2 Âge et sexe de la personne

En comparant l'âge et le sexe des individus de l'échantillon complet avec celui des individus dont les déplacements ont été simulés incorrectement, on observe, à partir de la Figure 4.6, que les tranches d'âge entre 10 et 29 ans sont les moins bien simulées autant chez les hommes que chez

les femmes. Ces tranches d'âge correspondent d'ailleurs aux étudiants, ce qui appuie l'observation de la section précédente, où il est démontré que les chaînes de motif « étude » sont les moins bien simulées. Ici encore, ce sont des tranches d'âge dont l'automobile passager et le transport en commun constituent des parts modales importantes. La Figure 4.6 permet également d'observer qu'au total les déplacements des femmes semblent moins bien simulés, tout comme ceux des individus de 65 ans et plus. Ce phénomène pourrait être dû au fait que parmi les femmes et les personnes âgées, on retrouve davantage d'individus dont le statut est autre que travailleur à temps plein et étudiant (voir Figure 4.7). Ainsi, les déplacements plus flexibles de ces individus seraient moins bien représentés au sein de ce modèle basé sur les chaînes à seulement deux déplacements. Les déplacements des individus dont le statut est autre que « travailleur » et « étudiant » ne comptent d'ailleurs que pour 16,41% de l'échantillon à partir de laquelle a été faite la simulation.

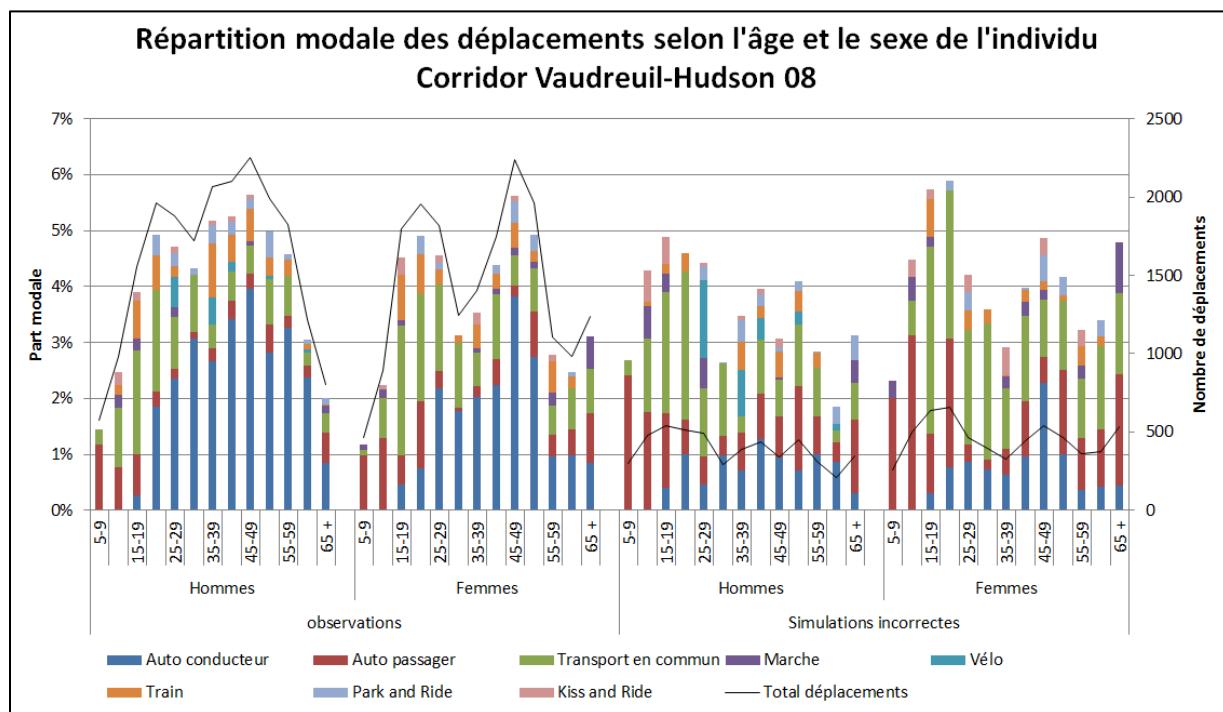


Figure 4.6 Répartition modale des déplacements selon l'âge et le sexe de l'individu Corridor Vaudreuil-Hudson 08

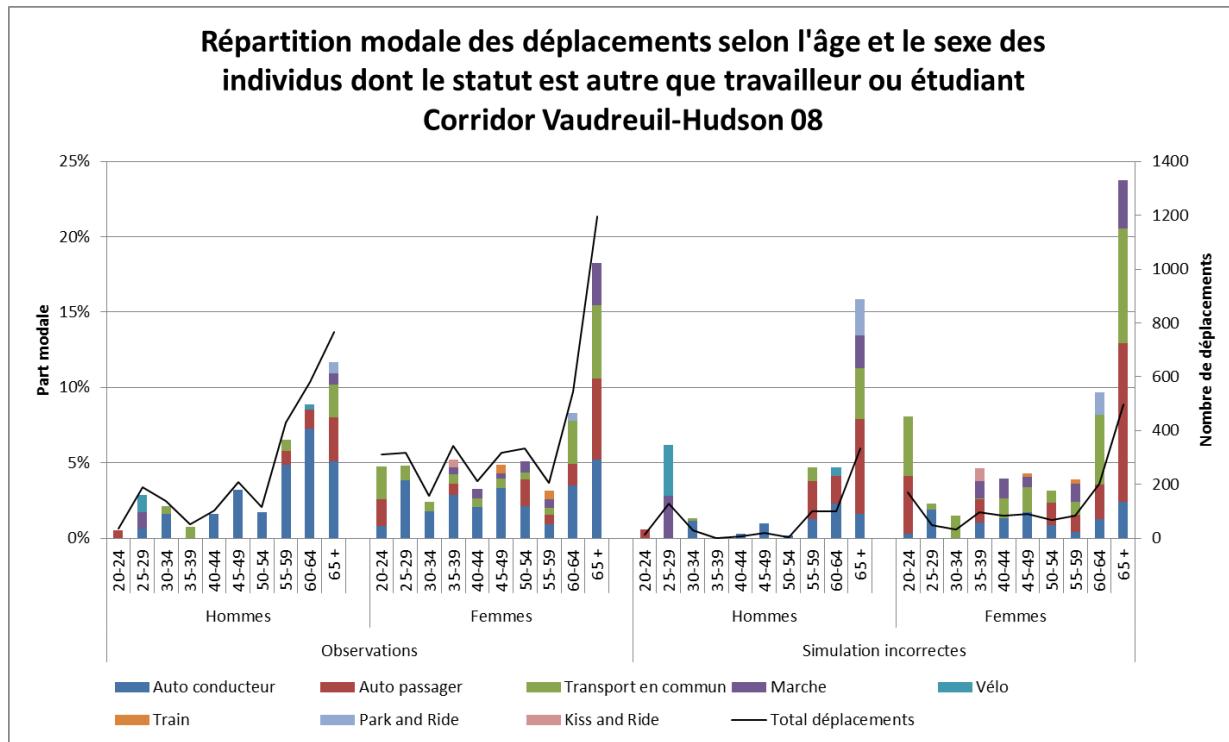


Figure 4.7 Répartition modale des déplacements selon l'âge et le sexe des individus dont le statut est autre que travailleur ou étudiant Corridor Vaudreuil-Hudson 08

#### 4.3.6.3 Distance des déplacements

À partir de la Figure 4.8, on remarque que ce sont principalement les déplacements de moins de 5 km qui sont les moins bien simulés. Ici encore, cette catégorie de déplacement en est une pour laquelle les déplacements en automobile passager et en transport en commun sont surreprésentés. L'hypothèse voulant que les erreurs de simulation se concentrent dans une catégorie de déplacements en raison de sa part modale importante d'automobile passager se justifie également en observant la tranche des déplacements de 10 à 14,99 km et celles de plus de 25 km. Effectivement, la part modale de l'automobile passager étant faible pour ces tranches, elles correspondent également aux tranches ayant le moins de simulations incorrectes.

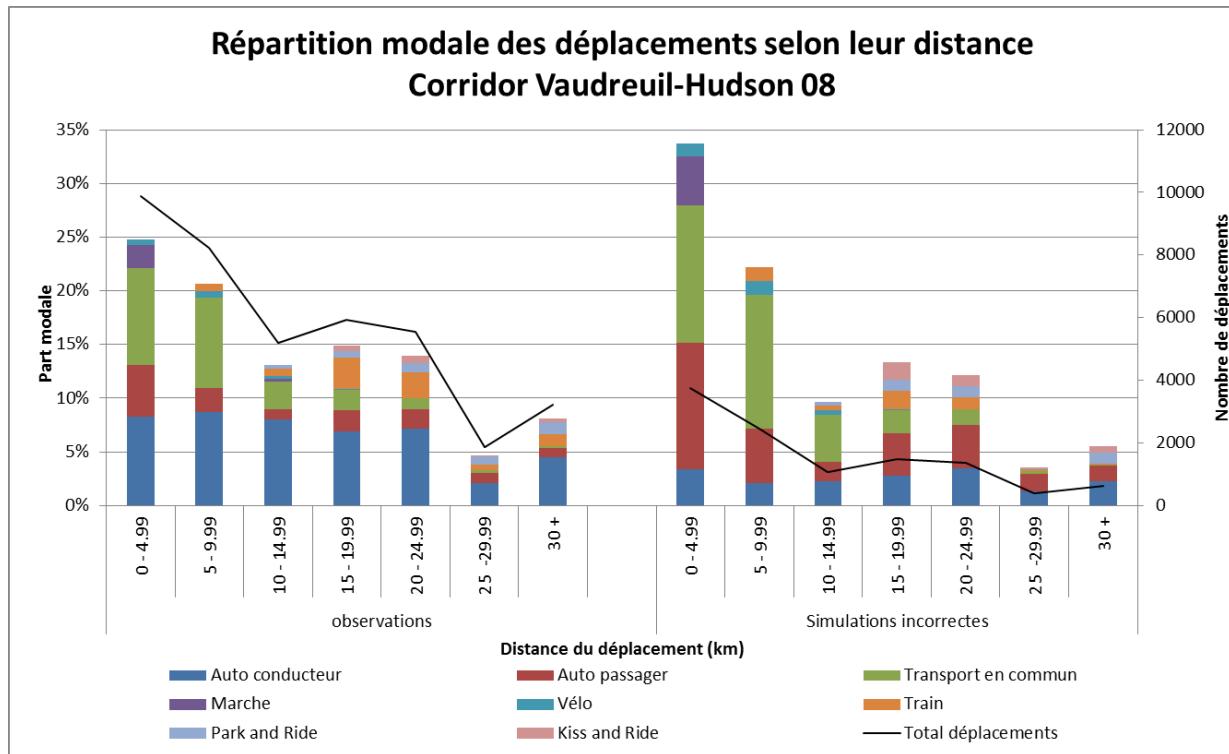


Figure 4.8 Répartition modale des déplacements selon leur distance Corridor Vaudreuil-Hudson 08

#### 4.3.7 Comparaison des résultats par rapport aux modèles étudiés dans la revue de littérature

Tout d'abord, rappelons que la revue de littérature fait état de trois modèles qui se basent sur les chaînes de déplacements: celui de Yun et al. (2011), celui de Miller, Roorda et Carrasco (2005) et finalement celui de Roorda et al. (2009), qui se veut une amélioration du précédent. Les résultats des trois modèles ainsi que ceux du modèle proposé dans cette étude sont présentés au Tableau 4.23. On remarque d'abord que les résultats du modèle proposé sont tous meilleurs que ceux du modèle de Yun et al. (2011) pour les modes correspondants. Ensuite, même si le modèle de Miller, Roorda et Carrasco (2005) n'intègre pas un cocktail très diversifié de modes de transport, on observe que les résultats sont les plus élevés parmi les modèles étudiés. Finalement en comparant le modèle proposé à celui de Roorda et al. (2009), on constate que le premier permet de mieux estimer l'automobile passager, le vélo, le train et le *Park and Ride*. L'automobile conducteur, le transport en commun et la marche sont mieux estimés par le modèle de Roorda et

al. (2009), mais il est intéressant de noter que les résultats du modèle proposé y sont tout de même assez près.

Tableau 4.23 Comparaison du modèle proposé à ceux de la revue de littérature par rapport au pourcentage de bonnes prédictions

<b>Nombre d'observations</b>	<b>Modèle proposé</b>	<b><i>Yun et al. (2011)</i></b>	<b><i>Miller et al. (2005)</i></b>	<b><i>Roorda et al. (2009)</i></b>
<b>Auto conducteur</b>	<b>39 876</b>	<b>53 924</b>	<b>14 570</b>	<b>22 591</b>
<b>Auto passager</b>	89.35%	80.62%	95.00%	91.80%
<b>Transport collectif</b>	38.30%	-	-	22.30%
<b>Marche</b>	59.94%	25.71%	75.00%	67.50%
<b>Vélo</b>	46.98%	30.10%	70.00%	62.10%
<b>Train</b>	37.64%	31.39%	-	7.70%
<b>Park and Ride</b>	84.57%	-	-	31.60%
<b>Kiss and Ride</b>	73.09%	-	-	62.90%
<b>Total</b>	<b>72.15%</b>	<b>65.57%</b>	<b>89.00%</b>	<b>74.50%</b>

## CHAPITRE 5 CONCLUSION

### 5.1 Contributions

Déjà plusieurs études se penchent sur la question du choix modal et plusieurs autres sur les chaînes de déplacement ou les modèles d'activités. Néanmoins, encore peu d'études tentent de mettre en lumière l'interdépendance du choix modal et des chaînes de déplacements, principalement dans le contexte montréalais. Effectivement, le choix du mode des déplacements effectués pour compléter une activité influence directement le choix modal des déplacements suivants de la chaîne. À Montréal les chercheurs ont la chance d'appuyer leurs recherches sur l'une des enquêtes origine-destination les plus riches d'Amérique du Nord, mais les études ne concernent généralement que les déplacements individuels plutôt que l'ensemble de ceux qui composent la chaîne de déplacements. Les travaux de Valiquette (2010) ont permis d'établir une typologie des chaînes, permettant alors l'approfondissement de leur analyse. Également, une méthode est élaborée afin d'enchaîner les déplacements de l'EOD. Ce travail de recherche a défini une méthode afin que ce concept puisse contribuer aux modèles de choix et transfert modaux.

Ce projet de recherche a d'abord été l'occasion d'étudier l'effet de différentes variables sur le choix modal de la chaîne de déplacement. Des variables de la personne, du ménage, du milieu bâti et de la chaîne elle-même ont été croisées avec le choix modal observé des chaînes de l'EOD 2008 de la GRM afin d'étudier les variations des habitudes de transport des individus. Cela a permis d'identifier les variables qui ont un effet significatif sur le choix du mode et qui peuvent ainsi bonifier les fonctions d'utilité d'un modèle de choix modal. Notamment, les variables égocentrées du milieu bâti, un concept élaboré par Martel-Poliquin (2012), semblent étroitement liées au mode de déplacement de la chaîne. C'est pour cette raison qu'une méthode est proposée afin d'automatiser l'estimation de ces variables à partir d'un outil qui pourra être amélioré au fur et à mesure que de nouvelles variables seront disponibles.

Une des contributions principales de ce projet de recherche est d'établir une typologie permettant de catégoriser les modes selon la nécessité de revenir les récupérer à un point d'ancre. Ainsi, les modes « avec ancre » sont ceux qui nécessitent que l'individu revienne les récupérer au point d'ancre où ils ont été stationnés, sinon ils ne seraient plus disponibles pour les prochains déplacements ou chaînes suivantes. Les modes « sans ancre » sont ceux qui offrent beaucoup

plus de flexibilité à la personne étant donné qu'ils n'engagent aucune contrainte pour les déplacements suivants de la chaîne. En effet, ils ne sont associés à aucun point d'ancrage, car ils n'ont pas besoin d'être stationnés. Une catégorie entre les deux précédentes, les modes « avec ancrage transportable » inclue les modes qui peuvent être stationnés à un point d'ancrage et donc nécessitent que l'usager y revienne pour le récupérer, mais ils peuvent aussi être transportés à bord d'un autre mode de transport étant donné leur poids et dimension accommodants. Les séquences bimodales sont également classées selon ces différentes catégories selon la présence d'un mode « avec ancrage » parmi les modes les composant. À partir de cette catégorisation des modes, une typologie formalisée des chaînes de déplacements est établie afin de permettre l'énumération des séquences modales possibles pour la compléter. Cette typologie s'inspire fortement des travaux de Valiquette (2010), mais dans ce cas-ci le nombre exact d'activités constitue un paramètre important de la chaîne. On constate alors que 97,85% des chaînes effectuées par les habitants de la GRM en 2008 se concentrent dans seulement quatre types de chaînes : simple (86,24%), complexe mono-boucle avec deux activités (8,42%), complexe multi-boucle avec trois activités (1,66%) et complexe mono-boucle avec trois activités (1,55%). Les 2,15 % restants sont divisés parmi 29 autres types de chaînes variant entre 0,41% et 0,001% de l'échantillon total des chaînes. L'énumération des séquences modales possibles prend toute son importance dans le contexte de la modélisation. Par exemple, une chaîne simple ne pourra pas être complétée à partir de n'importe quelle séquence de modes. En effet, si le premier déplacement est effectué avec un mode « avec ancrage », alors le déplacement suivant ne pourra se faire avec un mode « sans ancrage » et vice-versa. Ainsi, ces séquences possibles selon le type de chaîne de déplacements doivent être prises en compte lors de l'élaboration de l'ensemble de choix d'un modèle.

Ce projet de recherche contribue également à approfondir les paramètres du coût généralisé des modes de transport. Effectivement, alors que les coûts associés à l'utilisation des modes sont généralement limités au temps de déplacement (temps de marche, temps d'attente et temps à bord du véhicule dans le cas des transports en commun) et au coût monétaire déboursé, différents paramètres du mode sont également associés au choix modal, mais sont pratiquement absents au sein de la littérature. Les modes alternatifs émergents sont également négligés. Ainsi, une démarche est proposée afin de définir les paramètres composant les modes disponibles au sein du

cocktail de transport montréalais afin de pouvoir les intégrer éventuellement aux modèles de choix et transfert modal.

Ce projet de recherche contribue également à mettre en lumière l'interdépendance du mode de transport et de la chaîne de déplacements en expérimentant l'intégration de ce concept à un modèle de choix modal dans le cadre d'une étude de cas sur les chaînes simples du corridor de train Vaudreuil-Hudson. En comparant ce modèle basé sur les chaînes à un modèle basé sur les déplacements individuels estimé avec environ 80% des mêmes variables, les bénéfices de la méthode proposée dans ce projet de recherche sont mis en évidence. Effectivement, alors que la simulation du choix modal faite à partir du modèle basé sur les déplacements présente un taux de succès de 12,74%, celui du modèle basé sur les chaînes est de 72,15%. Ainsi, une nette amélioration est observée par l'intégration du concept de chaîne de déplacement, notamment pour l'automobile conducteur (89,35% contre 10,84%), le train (84,57% contre 18,10%) et le *Park and Ride* (73,09% contre 12,91%).

## 5.2 Limitations

Dans le cadre de cette recherche, différentes limites se sont manifestées. D'abord au niveau de l'étude des variables déterminantes du choix modal au sein de la chaîne, certaines ont été négligées en raison de contraintes méthodologiques ou simplement à cause d'un manque de disponibilité des données. Effectivement, il aurait été intéressant de pousser l'analyse au niveau des variables égocentrées du milieu bâti en intégrant des variables liées à la disponibilité des stationnements, la densité d'intersection, la tortuosité et la longueur du réseau routier, ainsi qu'à la densité commerciale. Également en raison de capacités restreintes de programmation, l'outil d'estimation automatisé des variables égocentrées n'a pas été complété et ne se limite, pour le moment, qu'à une proposition méthodologique.

Des limites sont également identifiées au niveau de la base de données des chaînes de déplacements. Effectivement, il semble que la méthode de création de ces fichiers de chaînes et la méthode de collecte de données pourraient bénéficier de certaines améliorations. Pour ce qui est des erreurs au sein des fichiers de chaînes, on retrouve d'abord des chaînes dont les types sont mal identifiés. Certaines chaînes simples sont identifiées comme étant multi-boucle alors que selon sa définition ce type de chaîne devrait toujours être mono-boucle puisqu'il est constitué de seulement deux déplacements (une activité). Également, des chaînes complexes multi-boucle sont

identifiées comme n'ayant que deux activités, trois déplacements et deux lieux d'activités (incluant le point de départ au domicile). Par contre, ce type de chaîne implique qu'une sous-boucle est effectuée pour compléter une activité et en comptant les activités au point d'ancrage de départ de la sous-boucle, ce type de chaîne devrait toujours comprendre au moins trois activités. En étudiant de plus près les déplacements de ces chaînes particulières, on constate que le deuxième déplacement sur trois possède la même origine et destination et son motif est généralement de la catégorie travail (78,59%), soit le même que le premier déplacement. Il semble ainsi que ce deuxième déplacement soit inutile, car il ne répète que la première activité sans pour autant changer de lieu d'activité. Dans ce cas-ci, il se peut que l'erreur provienne de la collecte des données, mais il reste que des erreurs semblent se glisser dans la formation des chaînes multi-boucle. Les déplacements de la catégorie sur la route posent également problème au niveau de la méthode d'enchaînement des déplacements, car bien qu'il s'agisse d'une chaîne, il n'y a pas de retour au domicile et l'origine et la destination sont ici aussi les mêmes. Or, l'absence de lieu d'activité pour ce motif complique l'estimation de la distance et du temps de parcours de la chaîne. C'est d'ailleurs pour cette raison que cette catégorie de motif a été mise de côté lors de l'élaboration des modèles de choix modal du corridor Vaudreuil-Hudson. Une amélioration intéressante au niveau du fichier de chaîne serait d'identifier la séquence des lieux visités durant la chaîne, car cela faciliterait la compréhension de la structure spatiale et l'identification des séquences modales disponibles. Par exemple, dans le cadre d'une chaîne complexe mono-boucle avec trois déplacements, pour effectuer une chaîne comprenant un point de jonction à un stationnement multimodal, il serait intéressant de savoir si la dernière activité de la chaîne se fait avant ou après le retour au point de jonction. Effectivement, cela a une incidence importante sur le choix modal pour ce déplacement, car s'il est effectué avant le retour au point de jonction, il peut être fait à partir d'un mode « sans ancrage » alors que s'il est fait après, il ne pourra être fait qu'avec le mode « avec ancrage » stationné au point de jonction.

Finalement, de nombreuses limites de ce projet de recherche se situent au niveau des modèles de l'étude de cas du corridor Vaudreuil-Hudson. D'abord, la corrélation des variables a été négligée, mais deux raisons expliquent cette décision. Premièrement, en éliminant les variables non significatives, la fonction d'utilité de certaines alternatives se voyait presque complètement dépourvue de variables explicatives. On remarque d'ailleurs que certaines alternatives possèdent une fonction d'utilité assez riche alors que d'autres n'ont que deux variables afin d'expliquer le

choix modal. Deuxièmement, étant donné que l'étude consiste en une comparaison de deux modèles, il était important qu'un nombre significatif de variables correspondent entre les deux. En éliminant les variables qui corrélaient avec les constantes, 18 variables de moins auraient permis d'estimer ces modèles. Ensuite, la distribution de certaines variables démontrait des données extrêmes beaucoup trop éloignées de la moyenne, ce qui semblait fausser les paramètres estimés, notamment dans le cadre des temps de déplacement. Une erreur lors de l'estimation de la disponibilité des alternatives de l'ensemble de choix pourrait être en cause. Normalement, la disponibilité de certaines alternatives était limitée à partir d'un seuil quelconque (par exemple de distance). Lorsqu'une observation dépassait la limite du seuil déterminée, mais que le mode observé correspondait à celui dont on souhaitait estimer la disponibilité, celui-ci était considéré comme étant disponible. Ainsi, à cause de cette erreur, il n'y avait pas d'indépendance entre le choix observé et la disponibilité de ce mode. Cela explique entre autres pourquoi la variable de la distance de déplacement totale de la marche, observée à la Figure B.12 de l'Annexe B, est aussi mal distribuée. Par ailleurs, ces modèles démontrent plusieurs limites en raison de la difficulté à estimer certains modes. Alors que des modes n'ont simplement pas pu être estimés, tel que le *Park and Ride* et le *Kiss and Ride* (basé à une station de transport en commun autre que le train) en raison de la complexité du choix de la station multimodale, d'autres comme le vélo démontrent une limite méthodologique importante. Effectivement, afin d'intégrer le vélo au sein de l'ensemble de choix, il est considéré que le vélo est disponible pour tous les déplacements limités à l'intérieur du seuil de distance sans considération de la disponibilité de ce mode au domicile. Finalement, de nombreuses variables significatives étudiées à la section 3.3 du document ont été laissées de côté, telles que la distance entre le domicile et le centre-ville ainsi que l'ensemble des variables égocentrées du milieu bâti. Leur intégration aux modèles aurait certainement contribué à améliorer leurs taux de succès..

### 5.3 Perspectives

À partir de la méthode développée dans ce projet de recherche, il serait intéressant d'intégrer le concept de chaîne de déplacements au sein d'un modèle de transfert modal. Effectivement, cet objectif apparaît dans le schéma méthodologique du projet de recherche, mais en raison d'un délai au niveau de la collecte de données pour certaines alternatives, celui-ci a été mis de côté. Il permettrait entre autres d'analyser avec plus de précision l'impact des variations au sein de

l'offre sur le choix modal. Par ailleurs, la seconde hypothèse soulignée en entrée de jeu au sein des objectifs, selon laquelle la structure de la chaîne peut changer lors de la modélisation, mérite d'être approfondie. Pour ce faire, il sera nécessaire de développer une méthode afin de calculer le temps et la distance supplémentaire qu'impliquerait ce changement au niveau de la structure spatio-temporelle de la chaîne ainsi que d'établir le potentiel des différents modes quant aux destinations pour un motif donné. Afin d'approfondir une approche de modélisation selon cette hypothèse, il serait nécessaire d'être en mesure d'énumérer les séquences modales disponibles en fonction du nombre de modes estimés selon leur catégorie « avec ancrage » ou « sans ancrage ». Effectivement, dans la méthode proposée pour énumérer les alternatives selon le type de chaîne, la séquence proposée ne considère que la catégorie du mode et non le mode en tant que tel. Il serait intéressant de trouver une manière d'automatiser l'énumération des séquences modales disponibles selon le nombre de modes inclus dans chaque catégorie.

Le modèle utilisé pour l'étude de cas est de forme MNL et ne permet d'estimer qu'un type de chaîne à la fois. Il serait intéressant de tester l'intégration du concept de chaîne de déplacements au sein d'un modèle de choix modal plus complexe. Par exemple, un modèle de type Nested Logit (NL) permettrait d'estimer plusieurs types de chaînes à la fois alors qu'un premier choix serait modélisé en amont du choix modal. Par le fait même, il serait possible d'intégrer le choix de l'activité, du type de chaîne et du mode au sein d'une même et unique plateforme permettant ainsi une communication entre les différents niveaux de décision, ce qui représenterait de manière beaucoup plus réaliste le comportement réel des usagers. L'utilisation de ce type de modèle, plus complexe, aurait également une autre utilité très importante. Effectivement, le train et les transports en commun sont deux modes qui appartiennent à la même famille (même s'ils n'attirent pas nécessairement les mêmes types de clients); il est donc possible que l'hypothèse d'indépendance entre alternatives ne soit pas parfaitement respectée. L'utilisation d'un modèle NL permettrait de résoudre ce potentiel problème de corrélation entre les alternatives.

Le portrait effectué des chaînes de déplacements et l'effet des variables significatives sur le choix modal mettent en lumière l'importance de développer des indicateurs qui permettront d'illustrer une variation entre les différentes alternatives. Alors que les variables égocentrees démontrent un potentiel explicatif énorme, un autre type de variable du milieu bâti pourrait permettre d'enrichir la modélisation du choix modal. La dimension fractale a effectivement le potentiel de mesurer la morphologie d'éléments géographiques irréguliers. Notamment, une méthode de *box counting* est

décrise par Morency et Chapleau (2003) en superposant une grille sur un objet et en comptant le nombre de cellules occupées. Le logarithme du nombre de cellules occupées sur le logarithme de  $1/r$ , où  $r$  représente la taille de la cellule, permet d'illustrer la morphologie étudiée à partir de la pente d'une régression linéaire. Également, alors que les différents paramètres du coût généralisé ont été définis, il importe de maintenant les approfondir et trouver un moyen de les quantifier afin de les intégrer à un modèle de choix ou transfert modal.

En conclusion, l'intégration du concept des chaînes de déplacements au sein des modèles de choix ou transfert modal constitue un énorme potentiel afin d'améliorer les outils de planification actuellement utilisés pour mesurer les impacts d'une politique de transport. Comme il a été démontré à partir de l'étude de cas du corridor Vaudreuil-Hudson, le taux de succès des alternatives impliquant l'automobile conducteur, le train et le *Park and Ride* est particulièrement bon. Ainsi, la méthode utilisée lors de cette étude pourrait être utile afin de prévoir la demande en ajustant l'échantillon selon l'année recherchée, par exemple dans une optique de cinq ans. On pourrait aussi mesurer l'impact d'un changement au niveau de l'offre de service de la ligne de train, tel qu'une diminution du coût des titres de transport ou l'implantation d'un coût au stationnement incitatif. En bref, l'intégration des chaînes à la modélisation des habitudes de transport constitue une façon intéressante d'améliorer les outils de planification et il est encourageant de constater que leur potentiel continu à être exploité.

## BIBLIOGRAPHIE

- Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*: MIT Press.
- Berg, F. (2014). Consommation d'essence: enfin des cotes réalistes. *Protégez-Vous*. Retrieved from [www.protegez-vous.ca](http://www.protegez-vous.ca/automobile/consommation-essence-enfin-des-cotes-realistes.html) website: <http://www.protegez-vous.ca/automobile/consommation-essence-enfin-des-cotes-realistes.html>
- Bierlaire, M. (2003). *BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models*. Paper presented at the 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Switzerland.
- Bourdeau, J.-S. (2014). *Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements*. (Maîtrise ÈS Sciences Appliquées Mémoire), Polytechnique de Montréal, Montréal.
- Cherchi, E., & de Dios Ortúzar, J. (2008). Empirical Identification in the Mixed Logit Model: Analysing the Effect of Data Richness. *Networks and Spatial Economics*, 8(2-3), 109-124. doi: 10.1007/s11067-007-9045-4
- Cirillo, C., & Axhausen, K. W. (2002). *Mode choice of complex tours: A panel analysis*. Paper presented at the European Transport Conference 2002, Cambridge, Angleterre.
- Dibbelt, J., Pajor, T., Strasser, B., & Wagner, D. (2013). Intriguingly Simple and Fast Transit Routing. In V. Bonifaci, C. Demetrescu & A. Marchetti-Spaccamela (Eds.), *Experimental Algorithms* (Vol. 7933, pp. 43-54): Springer Berlin Heidelberg.
- Efthymiou, D., Farooq, B., Bierlaire, M., & Antoniou, C. (2014). *Multidimensional Indicators Analysis for Transport Policy Evaluation*. Paper presented at the Transportation Research Board 93rd Annual Meeting.
- EPA. (2014). *Fuel economy guide model 2014*. United States: Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Retrieved from <http://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2014.pdf>.
- Godefroy, F. (2011). *Méthodologie de caractérisation du vélopartage et d'estimation du marché potentiel du vélo à Montréal*. (Maîtrise Mémoire), École Polytechnique de Montréal, École Polytechnique de Montréal.
- Goodman, R. (2001). A traveller in time: Understanding deterrents to walking to work. *Editorial board*, 7(4), 50-54.
- Goulias, K. G., & Kitamura, R. (1991). Recursive Model System for Trip Generation and Trip Chaining. UC Berkeley: University of California Transportation Center.
- Hollander, Y. (2006). Direct versus indirect models for the effects of unreliability. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(9), 699-711. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2005.12.007>
- Holzapfel, H. (1986). *Trip relationships in urban areas*. Aldershot: Gower.
- Islam, M. T. (2010). Unraveling the relationship between trip chaining and mode choice using structural equation models (pp. [12], 122 p.).
- Islam, M. T., & Habib, K. M. N. (2012). Unraveling the relationship between trip chaining and mode choice: evidence from a multi-week travel diary. *Transportation Planning and Technology*, 35(4), pp 409-426.

- Kain, J. (1994). Impacts of congestion pricing on transit and carpool demand and supply. *TRB(Curbing Gridlock)*, 516.
- Litman, T. (2004). Transit price elasticities and cross-elasticities. *Journal of Public Transportation*, 7, 37-58.
- Litman, T. (2008). Valuing transit service quality improvements. *Journal of Public Transportation*, 11(2), 43-63.
- Litman, T. (2009). Transportation cost and benefit analysis. *Victoria Transport Policy Institute*, 1-19.
- Luxen, D., & Vetter, C. (2011). *Real-time routing with OpenStreetMap data*. Paper presented at the Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, Chicago, Illinois.
- Lyons, G., Jain, J., & Holley, D. (2007). The use of travel time by rail passengers in Great Britain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(1), 107-120. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2006.05.012>
- Mackie, P. J., Wardman, M., Fowkes, A. S., & Whelan, G. (2003). Values of Travel Time Savings in the UK: Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- Martel-Poliquin, É. (2012). *Mieux comprendre les déterminants du choix modal*. (M.Sc.A Mémoire), École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada.
- McGuckin, N., & Murakami, E. (1999). Examining Trip-Chaining Behavior: Comparison of Travel by Men and Women. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1693(-1), 79-85. doi: 10.3141/1693-12
- McGuckin, N., & Nakamoto, Y. (2004). *Trips, Chains, and Tours - Using an Operational Definition*. Paper presented at the NHTS Conference, Washington, D.C.
- Miller, E., Roorda, M., & Carrasco, J. (2005). A tour-based model of travel mode choice. *Transportation*, 32(4), 399-422. doi: 10.1007/s11116-004-7962-3
- Montréal, C. M. d. (2011). *Un Grand Montréal attractif, compétitif et durable : Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement*.
- Montréal, C. M. d. (2013). *Financement du transport collectif métropolitain*. Montréal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- Morency, C., & Chapleau, R. (2003). Fractal geometry for the characterisation of urban-related states: Greater Montreal Case. *HarFa - Harmonic Fractal Image Analysis*, 30-34.
- Morency, C., Trépanier, M., & Demers, M. (2011). Walking to transit: An unexpected source of physical activity. *Transport Policy*, 18(6), 800-806. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.03.010>
- Morency, C., Trépanier, M., Tremblay, V., & Polquin, E. (2011). Insights on the Determinants of Walk Trips Using Large Scale Travel Survey Data *Transportation and Development Institute Congress 2011* (pp. 1006-1015): American Society of Civil Engineers.
- Ortúzar, J. d. D., & Willumsen, L. G. (2011a). *Discrete Choice Models Modelling Transport* (pp. 227-268): John Wiley & Sons, Ltd.

- Ortúzar, J. d. D., & Willumsen, L. G. (2011b). Modal Split and Direct Demand Models *Modelling Transport* (pp. 207-225): John Wiley & Sons, Ltd.
- Ortúzar, J. d. D., & Willumsen, L. G. (2011c). Specification and Estimation of Discrete Choice Models *Modelling Transport* (pp. 269-331): John Wiley & Sons, Ltd.
- Primerano, F., Taylor, M. A. P., Pitaksringkarn, L., & Tisato, P. (2008). Defining and Understanding Trip Chaining Behaviour. *Transportation: Planning, Policy, Research, Practice*, 35(1), pp 55-72.
- Québec, R. d. l. é. d. (2014). *Évolution des prix de détail de l'essence ordinaire en 2013 Région de Montréal*. Québec: Retrieved from [http://www.regie-energie.qc.ca/energie/prodpetro/Essence\\_MTL\\_2013.pdf](http://www.regie-energie.qc.ca/energie/prodpetro/Essence_MTL_2013.pdf).
- Roorda, M. J., Passmore, D., & Miller, E. J. (2009). Including Minor Modes of Transport in a Tour-Based Mode Choice Model with Household Interactions. *Journal of Transportation Engineering*, 135(12), pp 935-945.
- Russell, M. L. (2012). *Travel time use on public transport: what passengers do and how it affects their wellbeing*. (Doctoral dissertation), University of Otago.
- Thill, J.-C., & Thomas, I. (1987). Toward Conceptualizing Trip-Chaining Behavior: A Review. *Geographical Analysis*, 19(1), 1-17. doi: 10.1111/j.1538-4632.1987.tb00110.x
- Train, K. E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*: Cambridge University Press.
- Transportation, V. D. o. (2009). Implementing activity-based models in Virginia *VTM Research Paper* (Vol. 09, pp. 01-29).
- Valiquette, F. (2010). *Typologie des chaînes de déplacements et modélisation descriptive des systèmes d'activités des personnes*. (M.Sc.A Mémoire), École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada.
- Vleugels, I. V., Hans; Steenbergen, Thérèse; Vande Walle, Stefan; Cornelis, Eric; Castaigne, Marie. (2005). *Déterminants des choix modaux dans les chaînes de déplacements*. (CP/B8/421). Belgique: Politique scientifique fédérale.
- Xianyu, J. (2013). An Exploration of the Interdependencies between Trip Chaining Behavior and Travel Mode Choice. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96(0), 1967-1975. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.222>
- Ye, X., Pendyala, R. M., & Gottardi, G. (2007). An exploration of the relationship between mode choice and complexity of trip chaining patterns. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(1), 96-113. doi: 10.1016/j.trb.2006.03.004
- Yun, M., Liu, J., & Yang, X. (2011). *Modeling on Mode Choice Behavior Based on Trip Chaining: A Case Study in Zhongshan City*. Paper presented at the 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP), USA.

## ANNEXE A – CARACTÉRISATION DES CHAÎNES

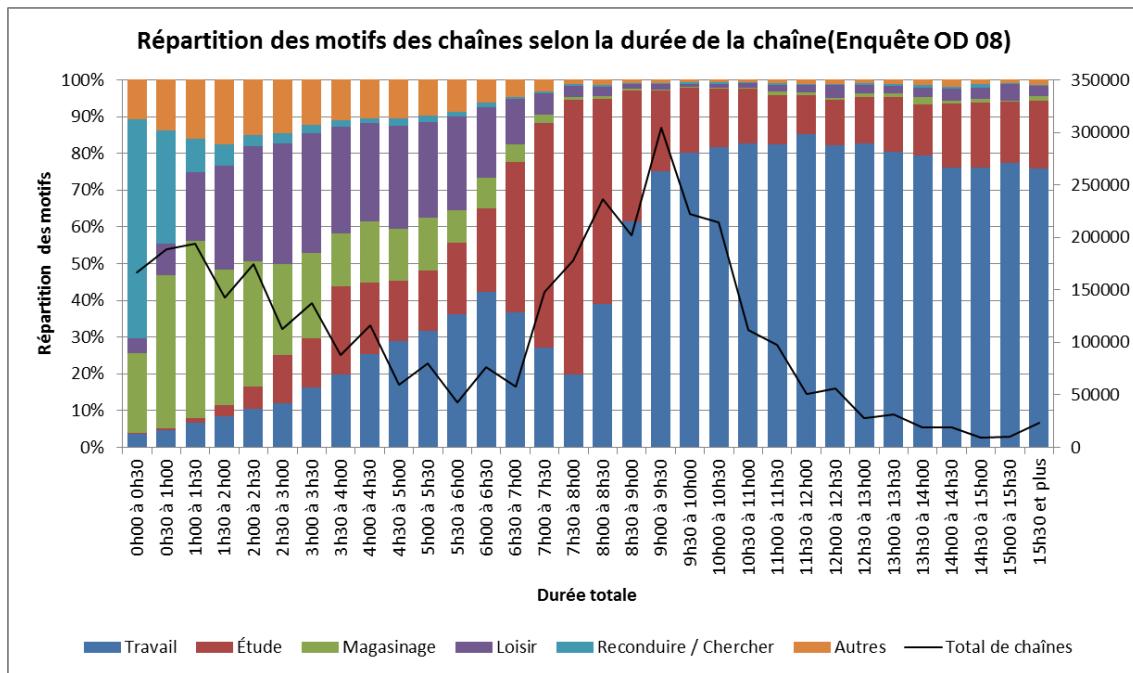


Figure A.1 Répartition des motifs des chaînes selon la durée de la chaîne

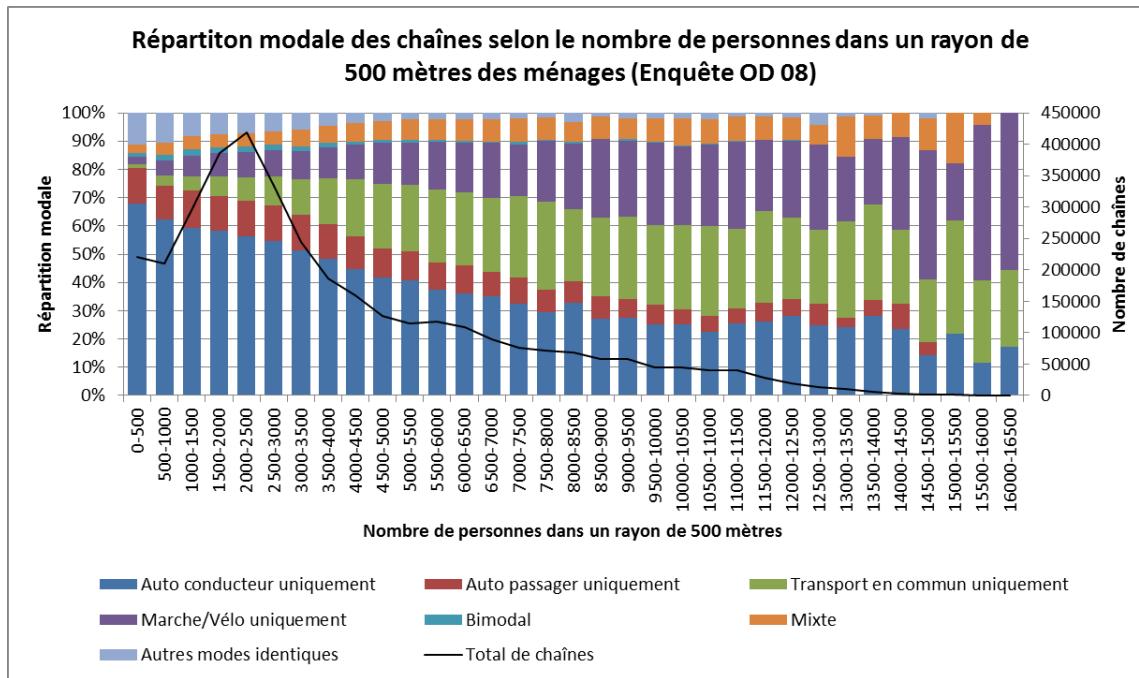


Figure A.2 Répartition modale des chaînes selon le nombre de personnes dans un rayon de 500m

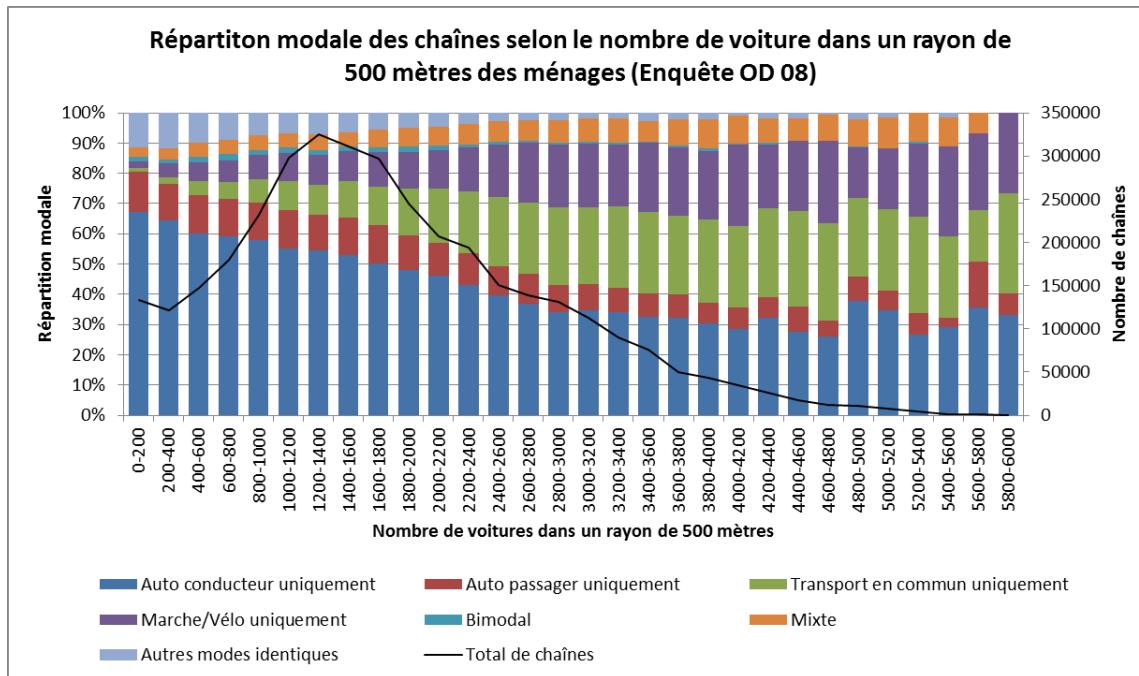


Figure A.3 Répartition modale des chaînes selon le nombre de voitures dans un rayon de 500m

## ANNEXE B – DISTRIBUTION DES VARIABLES UTILISÉES POUR LES MODÈLES BASÉS SUR LES DÉPLACEMENTS ET LES CHAÎNES

### Distribution des variables du modèle basé sur les déplacements

#### Temps de rabattement et diffusion

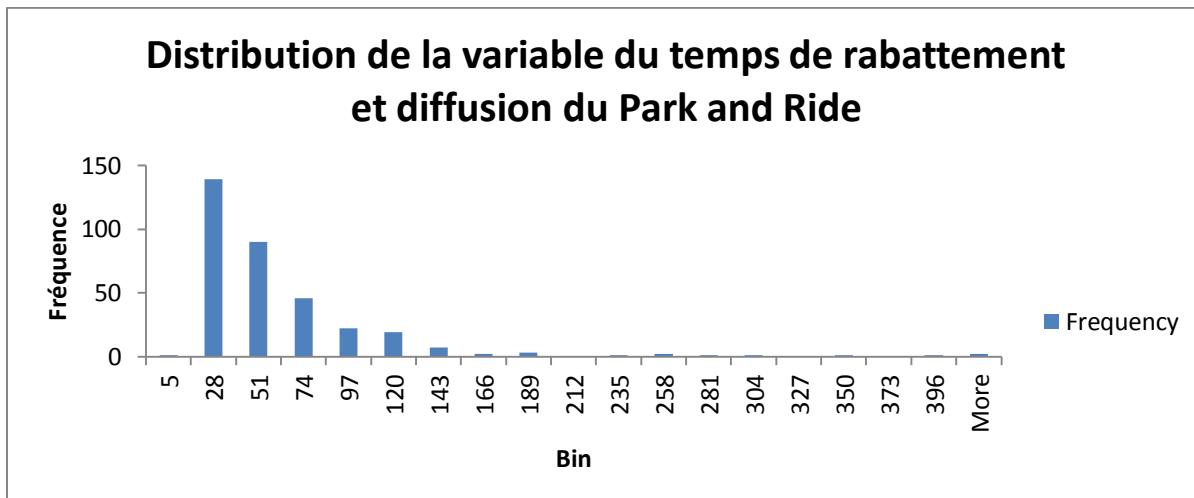


Figure B.4 Distribution de la variable du temps de rabattement et éclatement du Park and Ride

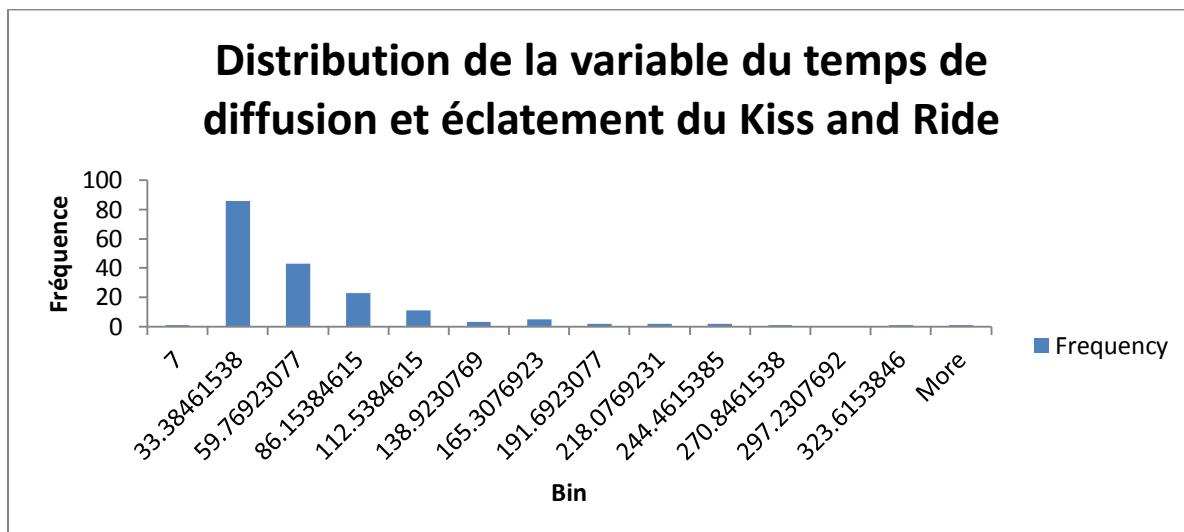


Figure B.5 Distribution de la variable du temps de rabattement et diffusion du Kiss and Ride

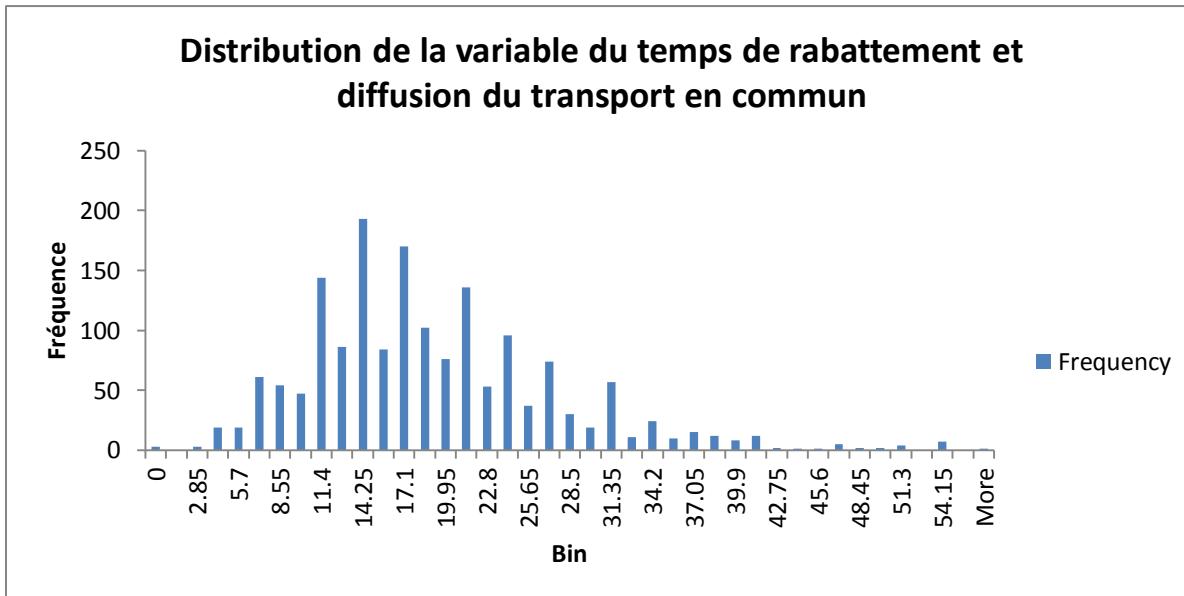


Figure B.6 Distribution de la variable du temps de rabattement et diffusion du transport en commun

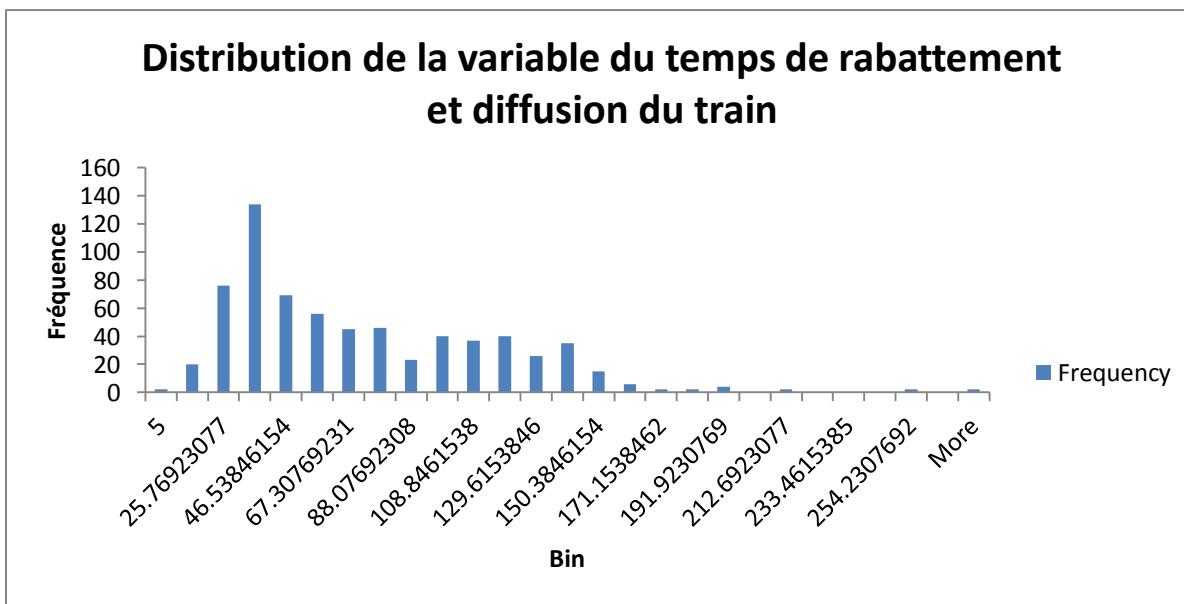


Figure B.7 Distribution de la variable du temps de rabattement et diffusion du train

## Temps de déplacement à bord du véhicule

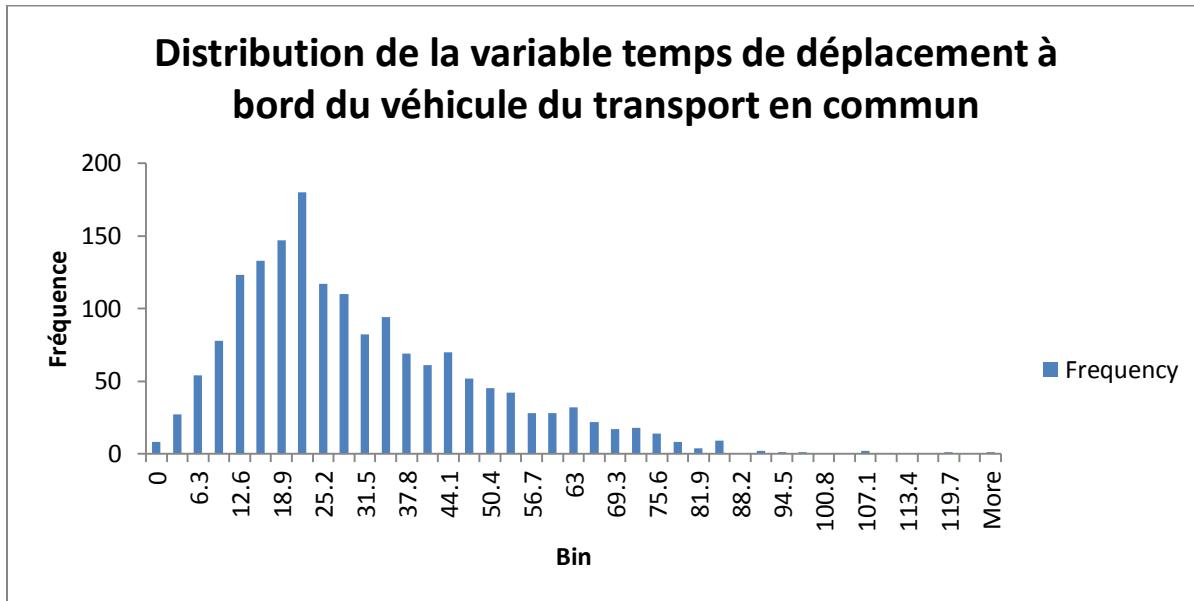


Figure B.8 Distribution de la variable temps de déplacement à bord du véhicule du transport en commun

## Temps d'attente

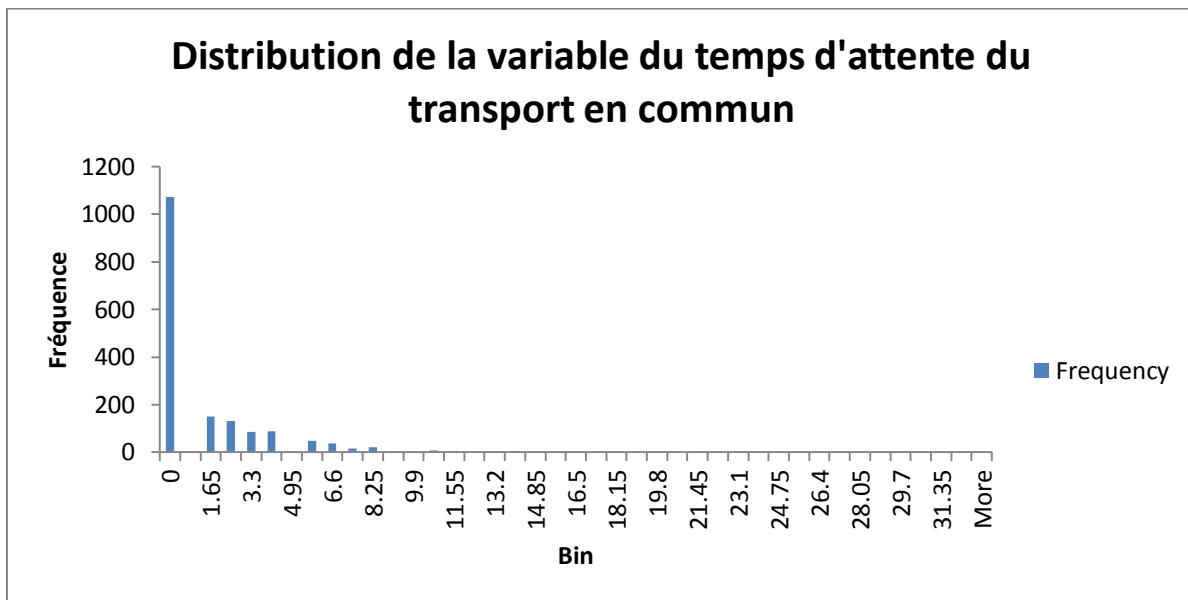


Figure B.9 Distribution du temps d'attente du transport en commun

## Temps de déplacement total

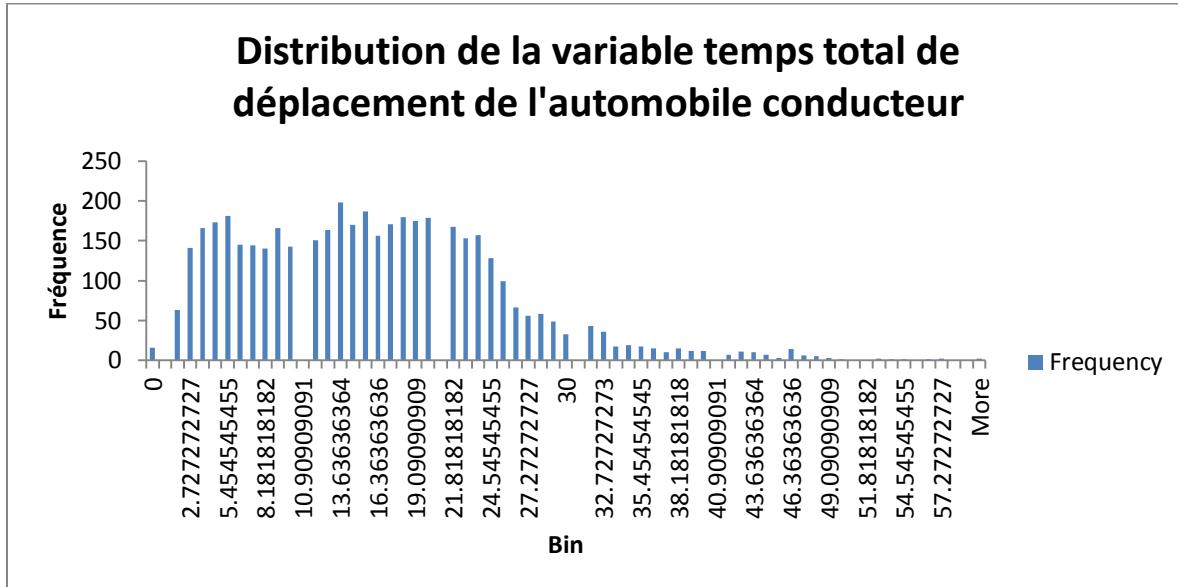


Figure B.10 Distribution de la variable temps total de déplacement de l'automobile conducteur

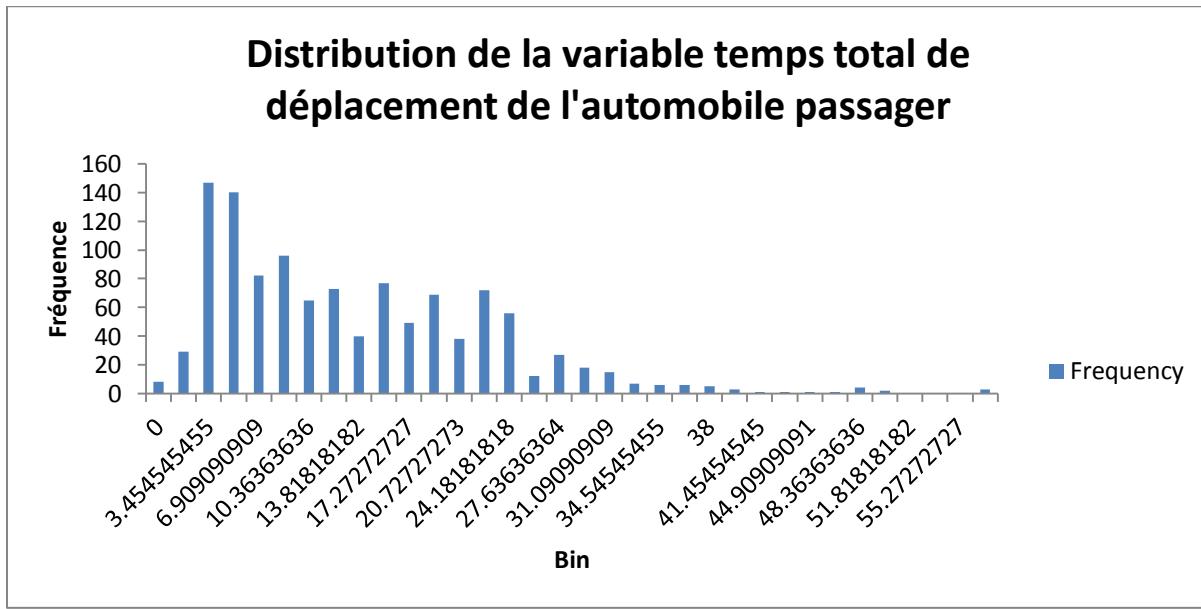


Figure B.11 Distribution de la variable temps total de déplacement de l'automobile passager

## Distance totale de déplacement

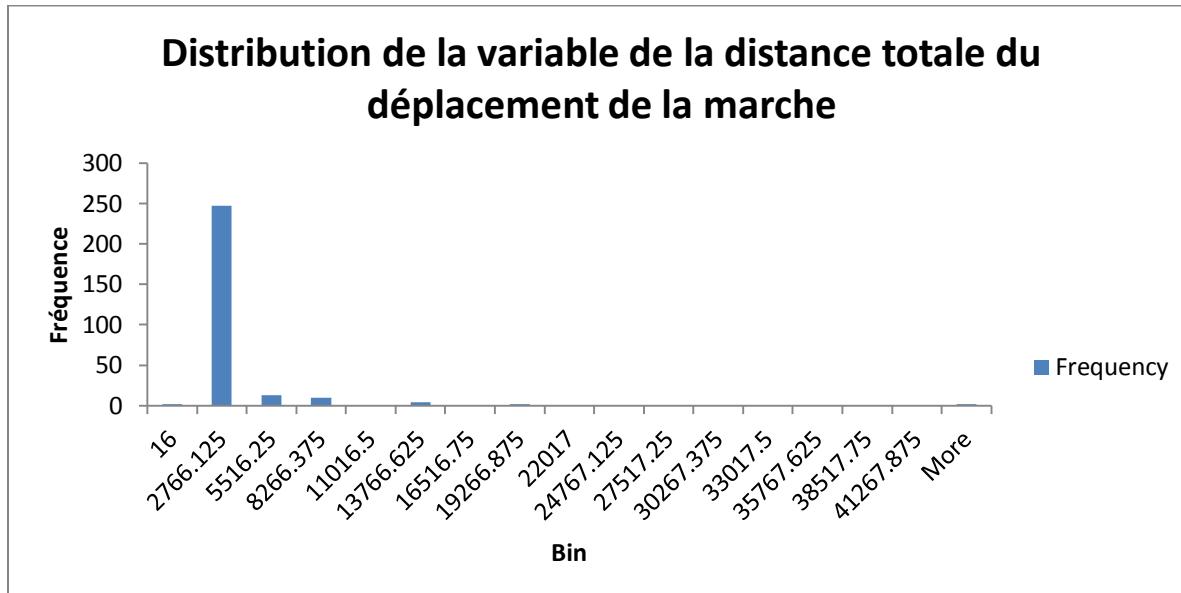


Figure B.12 Distribution de la variable de la distance totale du déplacement de la marche

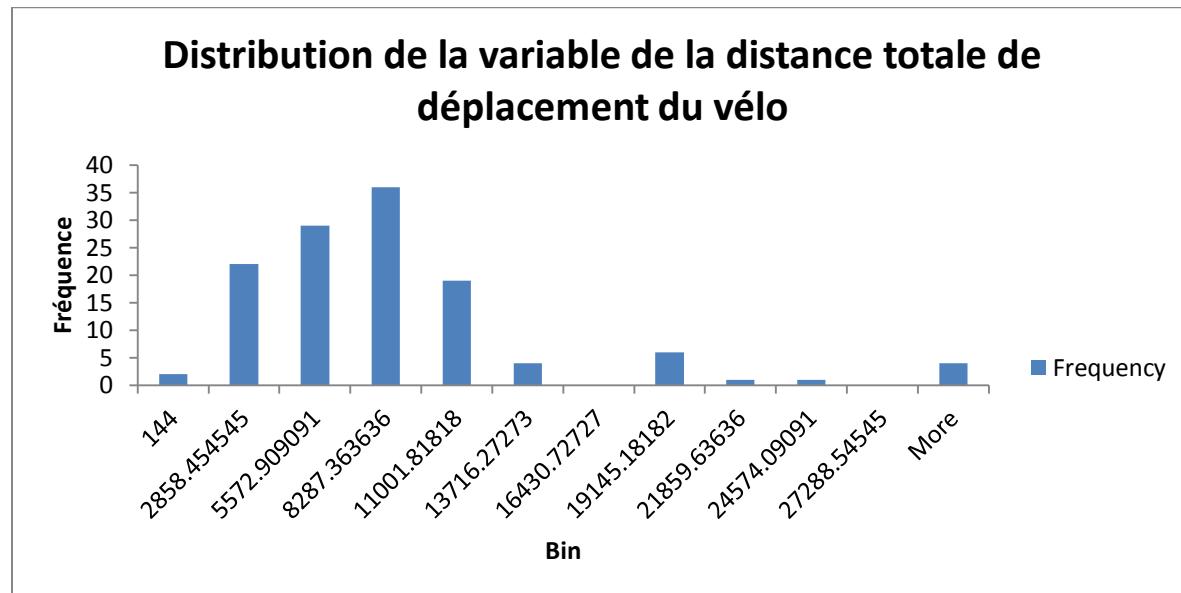


Figure B.13 Distribution de la variable de la distance totale de déplacement du vélo

## Distribution des variables du modèle basé sur les chaînes

### Temps de rabattement et diffusion

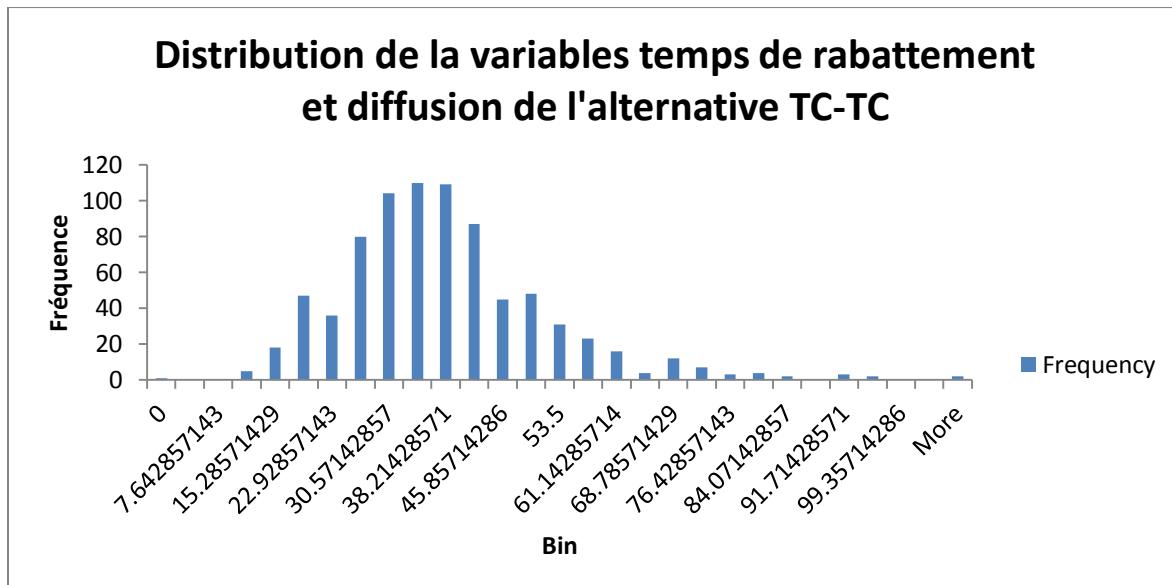


Figure B.14 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative TC-TC

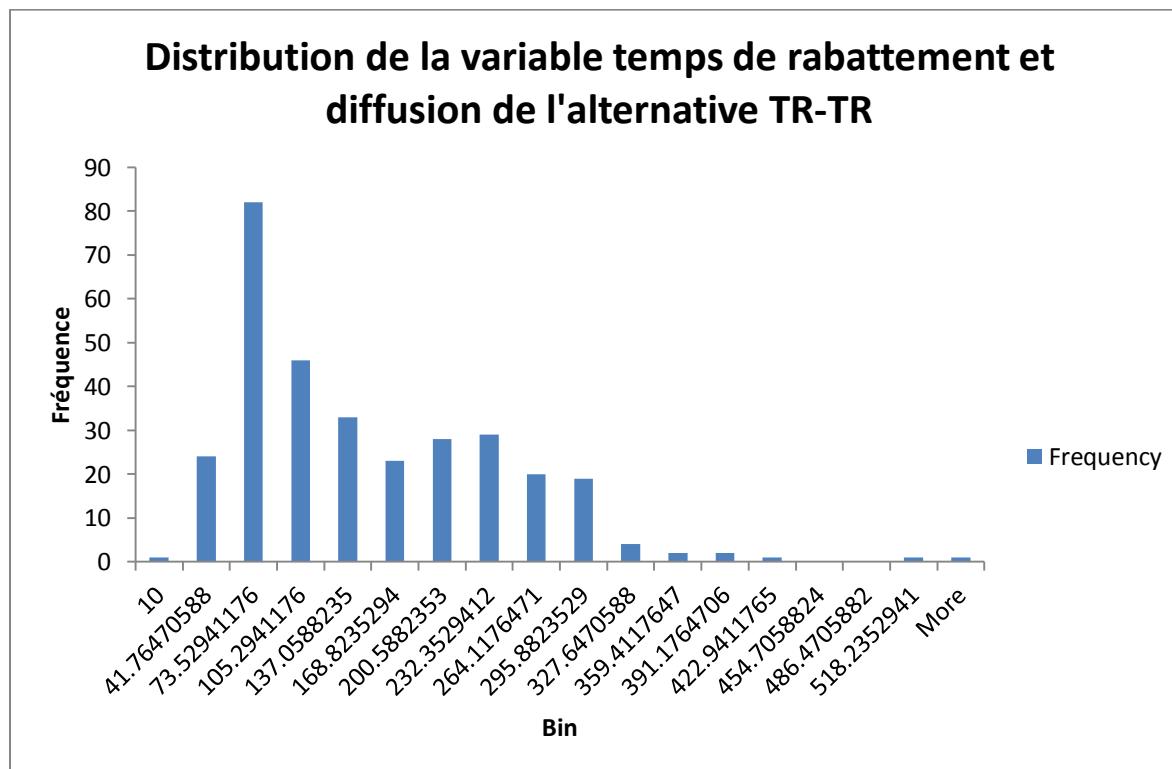


Figure B.15 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative TR-TR

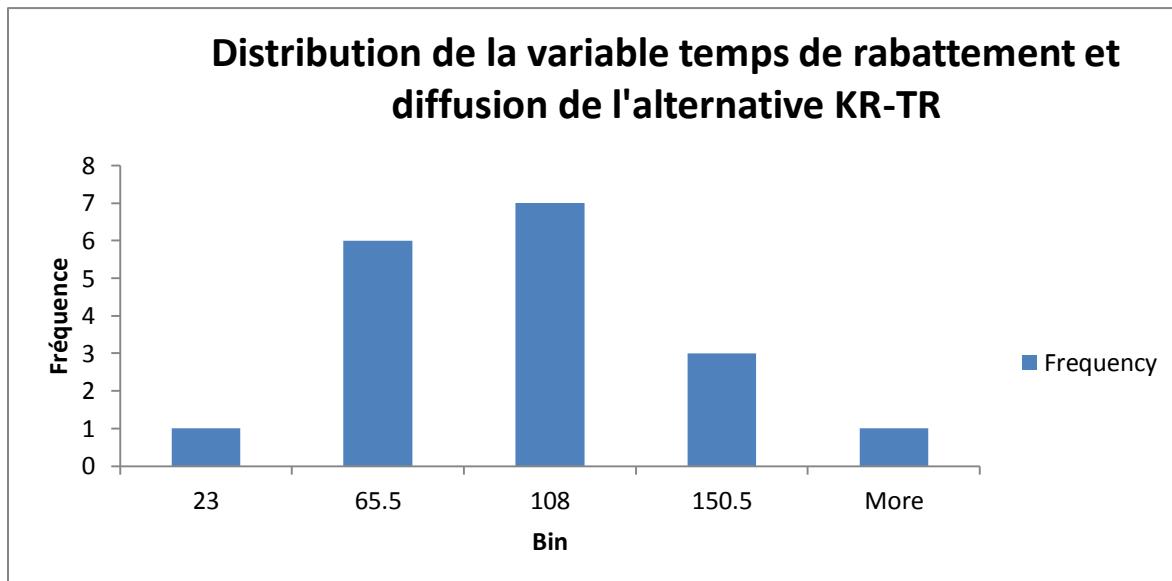


Figure B.16 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative KR-TR

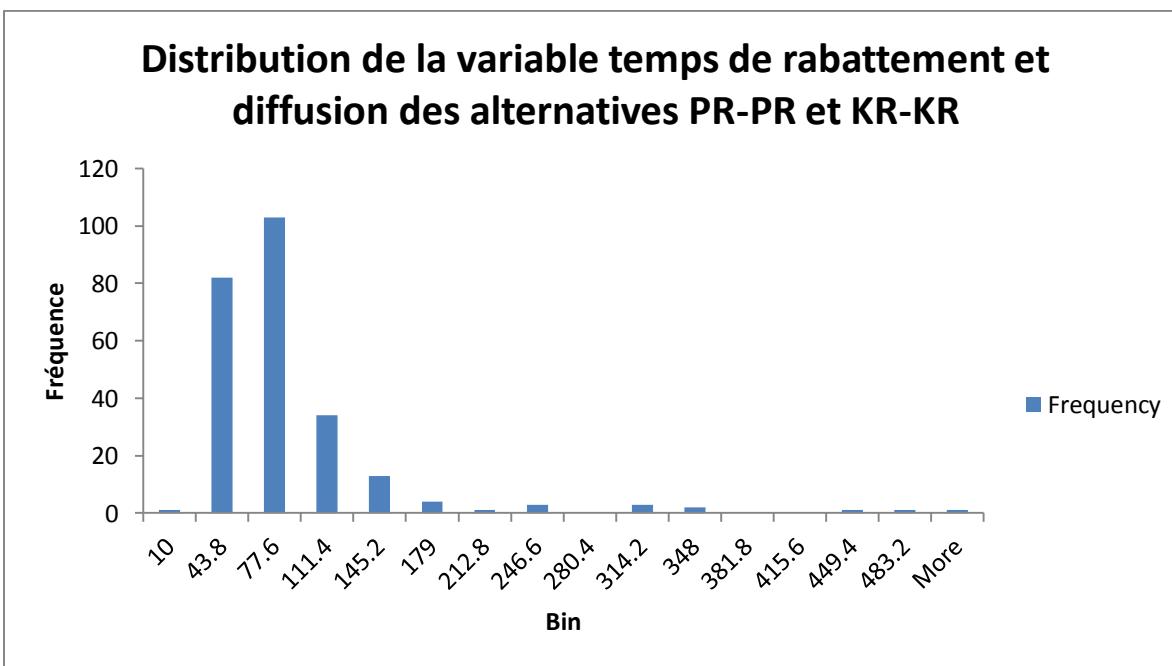


Figure B.17 Distribution de la variable temps de rabattement et diffusion de l'alternative PR-PR et KR-KR

## Temps de déplacement total

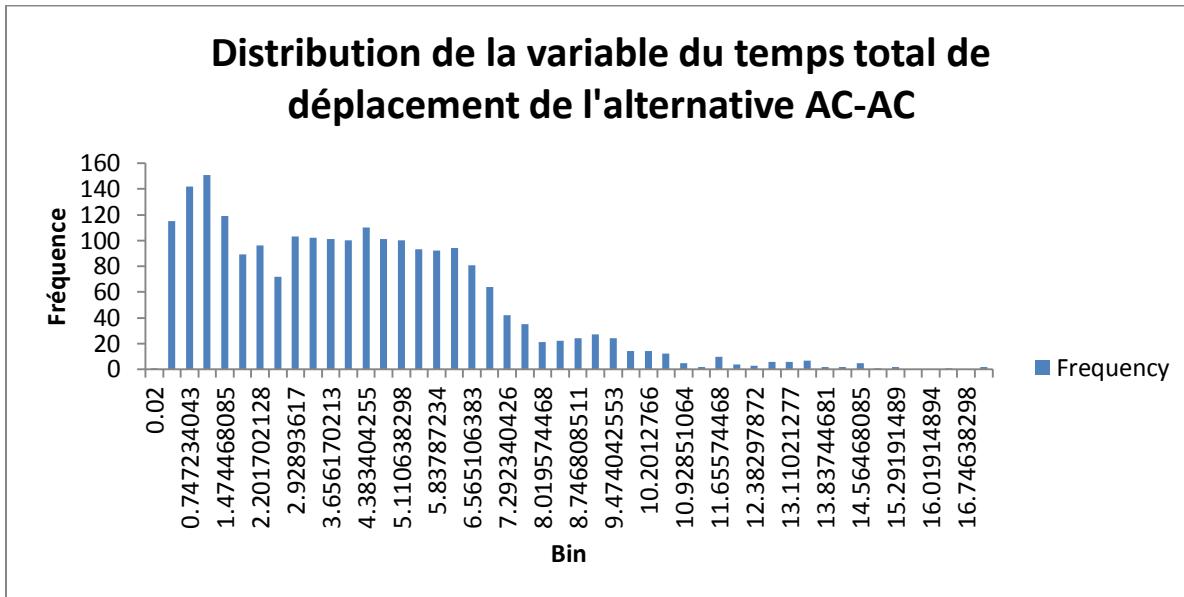


Figure B.18 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative AC-AC

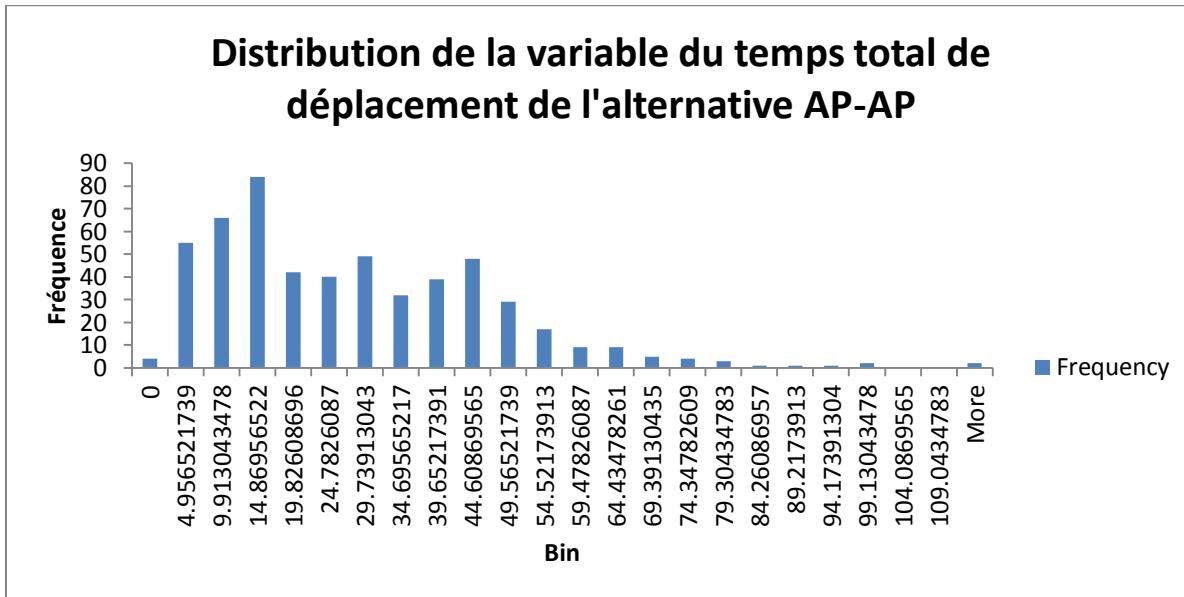


Figure B.19 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative AP-AP

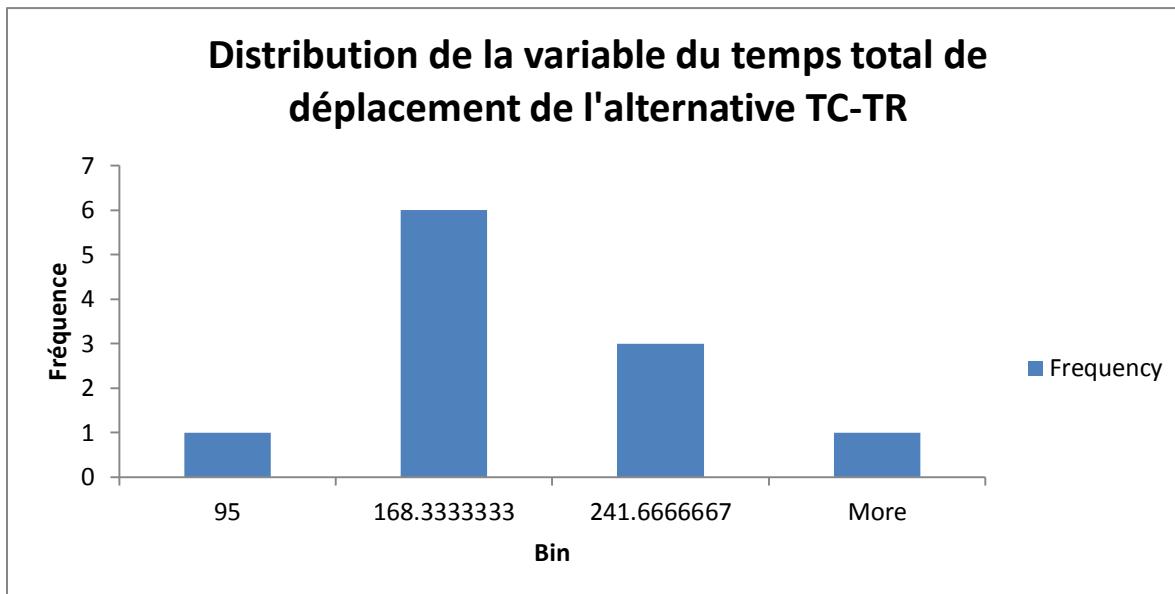


Figure B.20 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative TC-TR

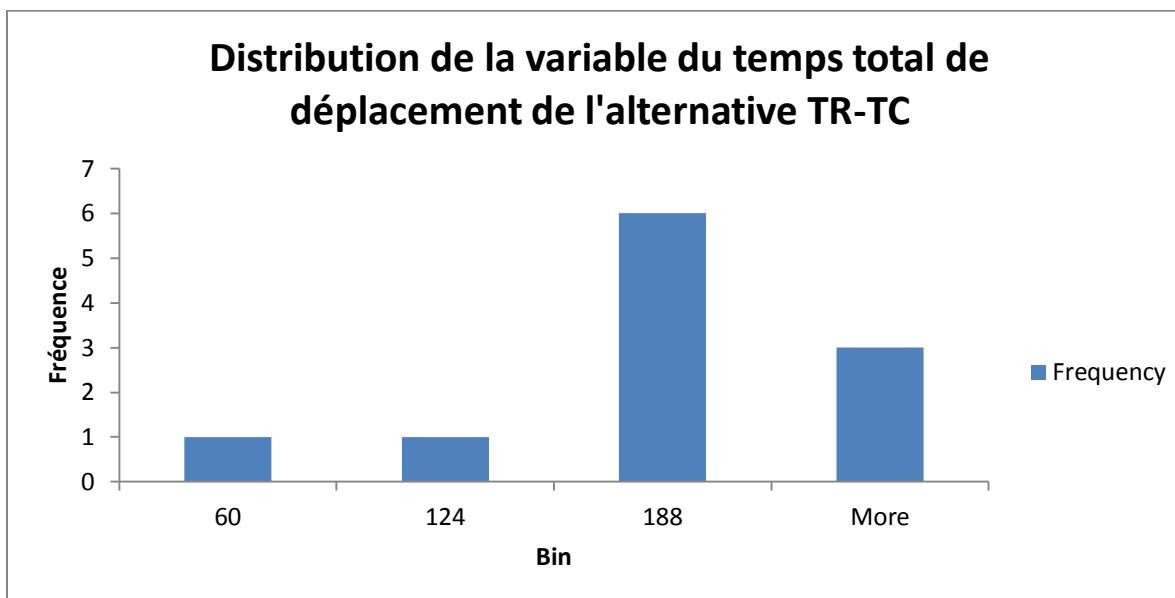


Figure B.21 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative TR-TC

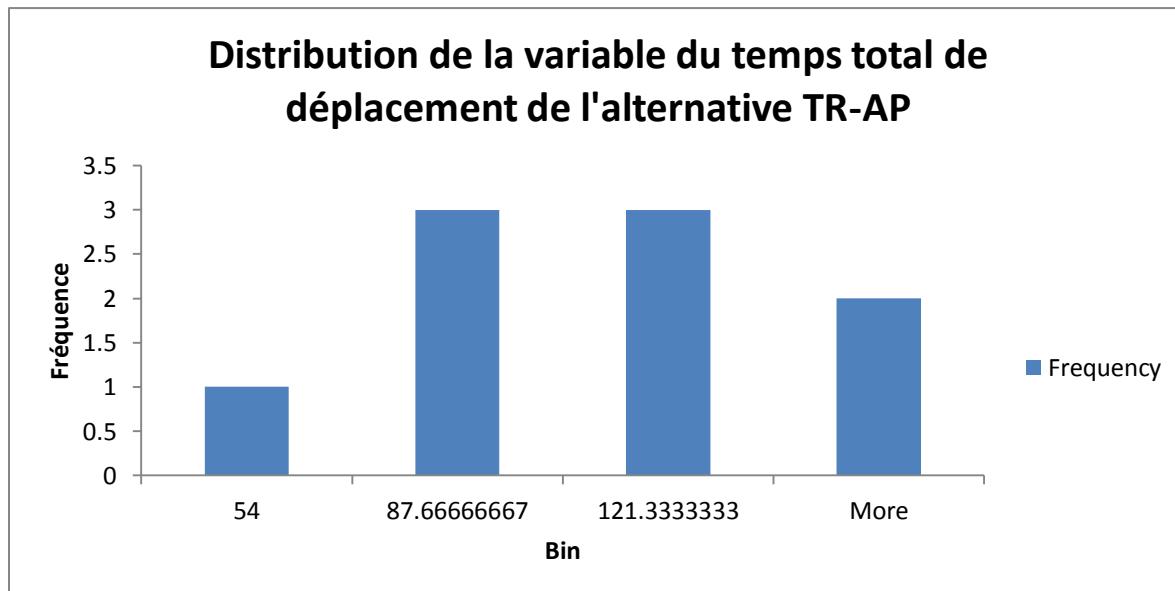


Figure B.22 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative TR-AP

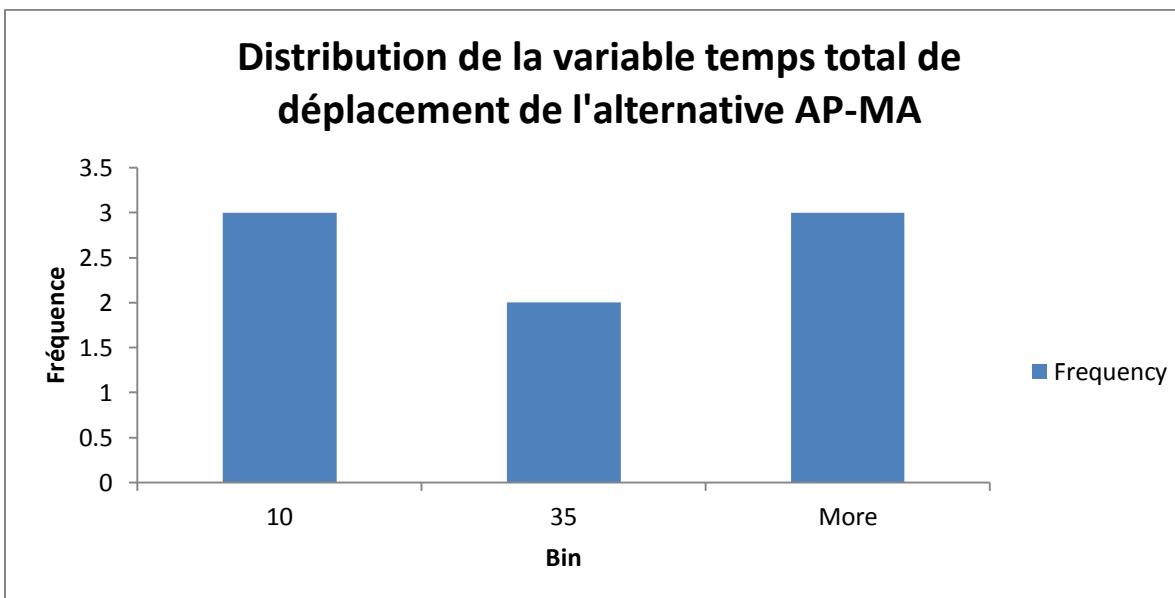


Figure B.23 Distribution de la variable du temps total de déplacement de l'alternative AP-MA

## Temps de déplacement à bord du véhicule

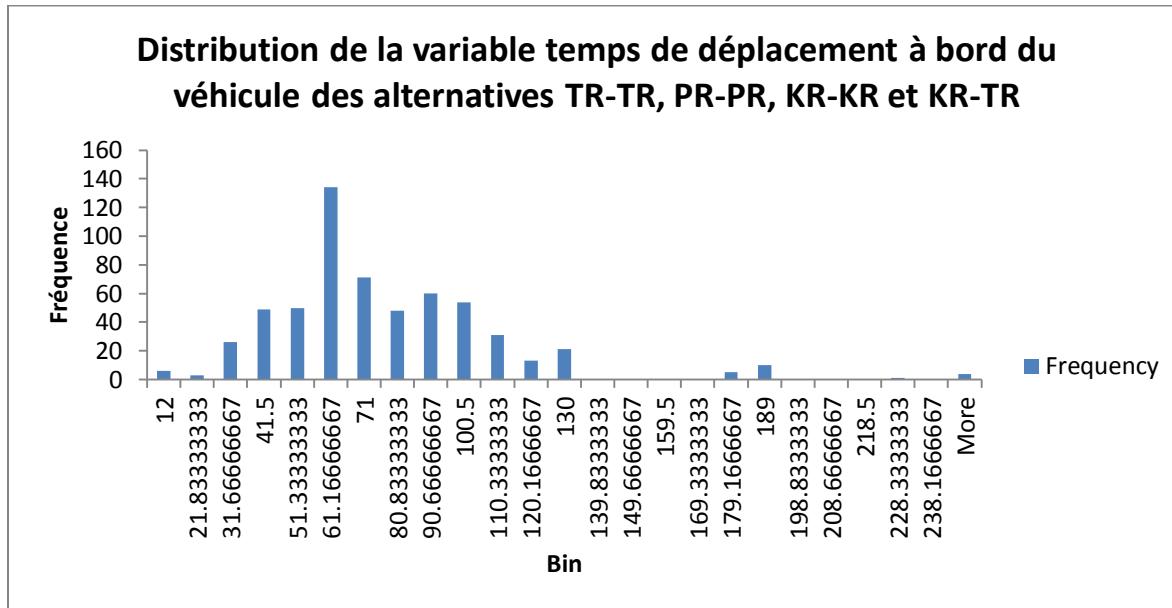


Figure B.24 Distribution de la variable temps de déplacement à bord du véhicule des alternatives TR-TR, PR-PR, KR-KR et KR-TR

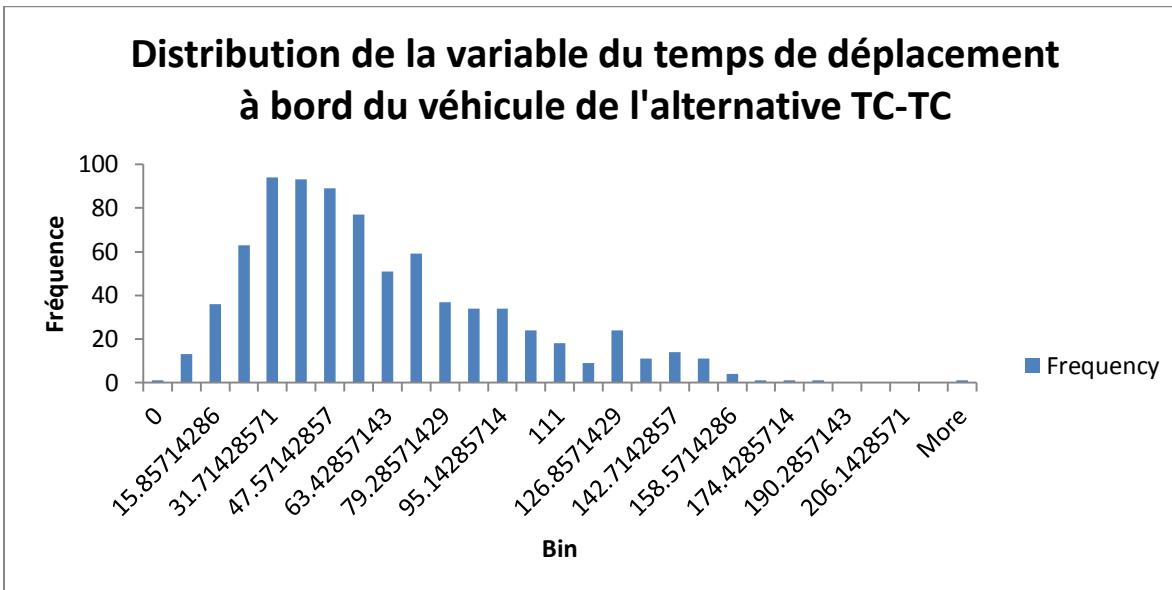


Figure B.25 Distribution de la variable du temps de déplacement à bord du véhicule de l'alternative TC-TC

## Distance totale de la chaîne

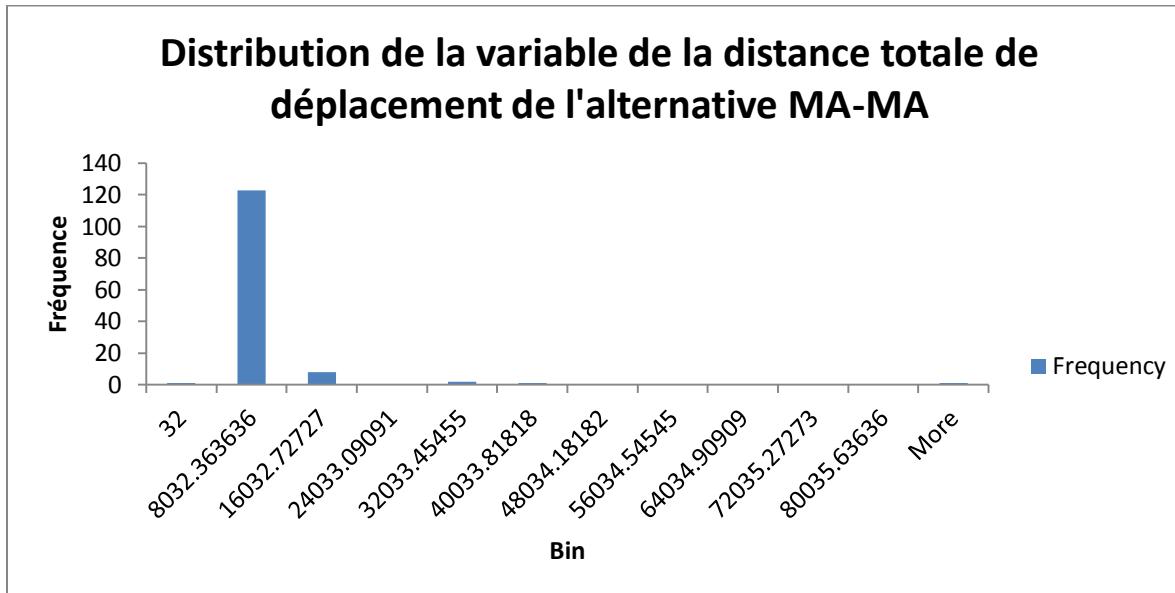


Figure B.26 Distribution de la variable de la distance totale de déplacement de l'alternative MA-MA

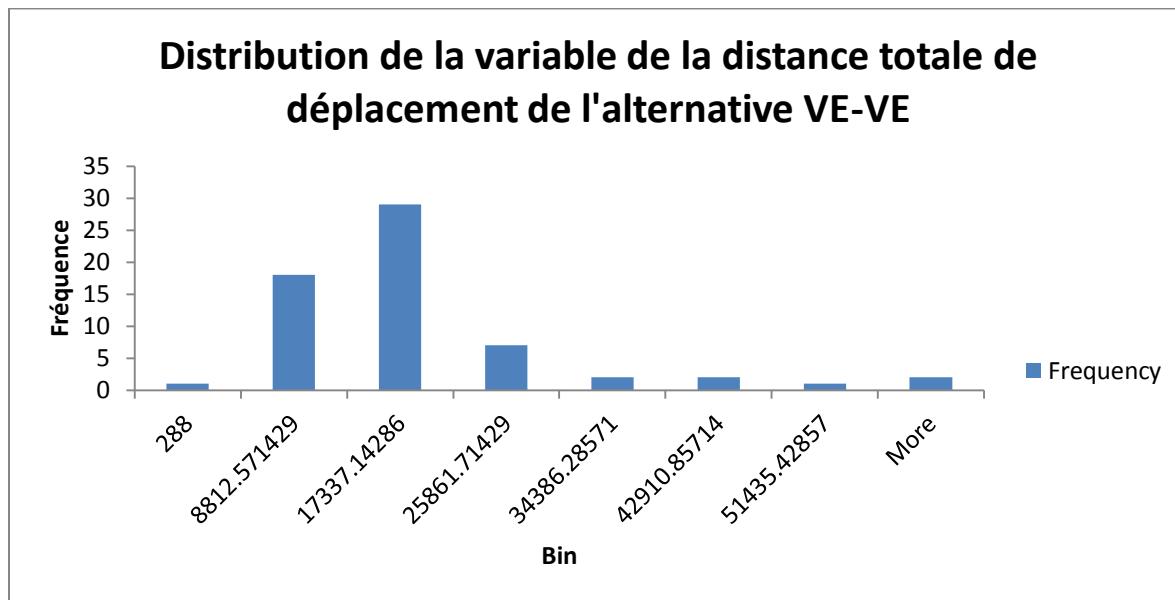


Figure B.27 Distribution de la variable de la distance totale de déplacement de l'alternative VE-VE