

Titre: Caractérisation des déplacements des usagers de l'autopartage à partir de traces GPS
Title:

Auteur: Benoit Leclerc
Author:

Date: 2012

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Leclerc, B. (2012). Caractérisation des déplacements des usagers de l'autopartage à partir de traces GPS [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/837/>
Citation:

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/837/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Martin Trépanier, & Catherine Morency
Advisors:

Programme: Génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CARACTÉRISATION DES DÉPLACEMENTS DES USAGERS DE
L'AUTOPARTAGE À PARTIR DE TRACES GPS

BENOIT LECLERC

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

AVRIL 2012

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

CARACTÉRISATION DES DÉPLACEMENTS DES USGAERS DE L'AUTOPARTAGE À
PARTIR DE TRACES GPS

présenté par : LECLERC Benoit

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès Sciences Appliquées

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

M. AGARD Bruno, Doct., président

M. TRÉPANIÉ Martin, ing., Ph.D. , membre et directeur de recherche

Mme MORENCY Catherine, ing., Ph.D., membre et codirectrice de recherche

M. SAUNIER Nicolas, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les professeurs Martin Trépanier et Catherine Morency pour leur support, leurs conseils et leurs commentaires tout au long du processus de développement de ce travail.

Je tiens également à remercier tout spécialement l'organisme Communauto qui a rendu ce travail possible en acceptant de partager ces données.

RÉSUMÉ

L'autopartage gagne en visibilité dans la société, de plus en plus de gens sont au courant de ce que ce mode de transport représente, de son fonctionnement. Au même moment, les technologies relatives aux appareils de positionnement GPS ne cessent de progresser, rendant les nouveaux appareils de plus en plus précis tout en étant moins encombrants et moins coûteux.

Cette recherche aborde l'union de ces deux sujets dans le but de caractériser les déplacements des usagers de l'autopartage à partir de traces GPS automatiquement enregistrées. Pour ce faire, une revue des travaux effectués sur ces sujets s'impose.

En ce qui concerne l'autopartage, un portrait représentant l'évolution de ce mode de transport alternatif est dressé par (Shaheen, Cohen, & Chung, 2009). De plus, des travaux de recherche ont été effectués afin de mieux comprendre l'utilisation des véhicules d'autopartage par les usagers. Une méthode basée sur des principes de datamining, en utilisant les données transactionnelles, a été réalisée par (Morency, Trépanier, & Agard, 2011) dans le but d'établir des groupes d'usagers type. Des sondages ont également été réalisés, entre autres par (Cervero & Tsai, 2004), dans le but de comprendre les motifs des activités lors de l'utilisation de véhicules en autopartage.

Pour l'analyse des traces GPS, une meilleure compréhension du fonctionnement des appareils est présentée d'après les études de (Mintsis, Basbas, Papaioannou, Taxiltaris, & Tziavos, 2004) et (Lu, Chen, Shen, Lam, & Liu, 2007). Dans les dernières années, plusieurs auteurs ont développé des méthodes, des algorithmes, afin d'être en mesure d'identifier des arrêts effectués par un usager en se basant sur des traces GPS, parmi ces auteurs l'on trouve (Du & Aultman-Hall, 2007) et (Stopher, FitzGerald, & Zhang, 2008). En plus d'être en mesure d'identifier correctement les arrêts, (Gong, Chen, Bialostozky, & Lawson, 2012) et (Bohte & Maat, 2009) ont développé des algorithmes pouvant identifier, avec un certain succès, les modes de transport utilisés pour effectuer les déplacements.

Grâce à un partenariat avec l'entreprise Communauto, un des leaders nord-américains de l'autopartage, l'identification de chaînes et de déplacements à partir des données de positionnement GPS de leurs véhicules a pu être réalisée.

Un système d'information sur mesure a été développé afin d'être en mesure de traiter les données de positionnement GPS fournies par Communauto et de les utiliser afin d'identifier des déplacements. Ce système permet également de constituer des chaînes de déplacements qui seront associées à des transactions effectuées par les usagers, les liens entre ces informations n'étant pas disponibles pour l'analyse par souci de confidentialité. Un critère de détermination d'arrêt a été déterminé en considérant la spécificité de la précision temporelle et spatiale des données GPS. Ce critère se traduit par un véhicule immobile dans un rayon de 20 mètres pendant un minimum de 5 minutes pour qu'un arrêt soit comptabilisé.

L'échantillonnage pour l'analyse effectuée dans ce rapport représente une période de trois mois durant lesquels 123 490 déplacements regroupés en 27 615 chaînes ont été identifiés. Ces chaînes de déplacements ont été associées à des transactions effectuées par des usagers; par conséquent, les caractéristiques des chaînes se sont liées aux attributs des usagers ayant effectué ces déplacements. Cette étape permet donc de réaliser des analyses sur les résultats des chaînes et des déplacements, en plus de considérer les lieux d'arrêts. L'étendue de l'analyse regroupe des caractéristiques techniques des chaînes et des déplacements; durées totales, durées à l'arrêt, distances parcourues, nombre de déplacements par chaîne, déplacements urbains ou interurbains, le jour de la semaine où la chaîne est effectuée, et bien d'autres. Une partie de l'analyse repose également sur les attributs des usagers afin d'y croiser des résultats techniques, ainsi les facteurs suivants sont considérés : l'âge de l'utilisateur, le sexe, le lieu de résidence. Ces analyses permettent d'obtenir des résultats jusqu'alors inconnus, il n'était en effet pas possible de les obtenir uniquement depuis les données transactionnelles sur lesquelles des travaux avaient précédemment été effectués, pas plus qu'il n'était possible d'obtenir ces résultats à partir de sondages menés sporadiquement auprès des utilisateurs.

Ce travail prend fin avec une ouverture vers des travaux futurs et des perspectives d'utilisation et d'amélioration du système réalisé. En effet, des applications tant au niveau du positionnement de l'autopartage à travers l'ensemble des modes de déplacements en comparant les résultats avec des enquêtes d'origine-destination où autres résultats représentatifs. En plus de la création d'outils étant en mesure d'utiliser les données obtenues sur les déplacements en temps réel sont des avenues de développement intéressantes.

ABSTRACT

Carsharing is gaining in visibility throughout society, with more people now being aware of what this mode of transportation is about and how it works. At the same time, GPS technology has been in continuous development, with recent devices being more and more accurate while being less expensive and a lot smaller, making it easily accessible to everyone.

This study is about combining these two subjects in the aim of characterizing the trip segments of carsharing users from their automatically generated GPS data. In that perspective, a brief literature review of both carsharing and GPS tracking analysis is required.

First, a general overview of the beginning and evolution over the years of the new alternative mode of transportation that is carsharing is presented by (Shaheen et al., 2009). Studies were also conducted in the aim of gaining a deeper understanding of carsharing usage. A method based on datamining techniques applied to carsharing transactional data was developed by (Morency et al., 2011) to determine distinct groups of carsharing users, each with their own specific characteristics. In addition to these user characterization studies, some work was done by researchers such as (Cervero & Tsai, 2004) who conducted surveys with the goal of understanding the purpose of carsharing usage.

Second, as regards the GPS tracking analysis, a global explanation of how the GPS system functions and its key characteristics is presented by (Mintsis et al., 2004) and (Lu et al., 2007). Over the last couple of years, a number of authors developed methods and algorithms that were able to successfully identify trip segments completed by an individual using the GPS tracking data, (Du & Aultman-Hall, 2007) and (Stopher et al., 2008) are only one example of the researchers that have worked on the subject. In addition to being able to successfully identify trip segments, (Gong et al., 2012) and (Bohte & Maat, 2009) developed algorithms capable of determining, with reasonable accuracy, the travel mode used by an individual, relying on the GPS tracking data and a contextualized GIS.

Through a partnership with Communauto, a leading North American carsharing company, the identification of trips and trip segments using GPS tracking data from their vehicle fleet has been achieved.

The development of a customized information system was needed in order to be able to process GPS tracking data shared by Communauto into identifying trip segments. This system also allows the formation of trip chains that are to be associated with the transactions made by the carsharing user. Since the link between these two databases was unavailable for this analysis due to confidentiality issues, an algorithm was developed in order to bypass that problem. In order to be able to identify trip segments, a set of rules was determined by considering the specificity of the temporal and spatial accuracy of the GPS tracking data. These two basic rules resulted in the following data indicating the end of a trip segment: a stationary vehicle within a 20-meter radius for a minimum duration of 5 minutes.

The sample used for the analysis conducted in this report represents a three month period for which 123,490 trip segments grouped in 27,615 trip chains were identified. These trip chains were associated with transactions conducted by the users. The characteristics of the trips were therefore linked to the attributes of the users who made them. This step makes it possible to perform an analysis of the results of the trip chains data, while considering the activity nodes. The scope of the analysis includes technical characteristics of the trip chains and the trip segments: total time, periods where the vehicle is stopped, distance traveled, the number of trip segments per trip chain, whether the trip is made around town or over a longer distance, on which day of the week the trip chains were made, as well as many others. A second part of the analysis is based on the user's attributes in order to cross-reference them with technical characteristics. The following attributes are considered: the user's age, sex and place of residence. These various analyses on the trip segments and their chains yielded results which were until then unknown. It was not possible to obtain this kind of analysis based only on transactional data about which previous studies had been undertaken, nor was it possible to obtain these results from surveys conducted sporadically with the carsharing users.

This paper ends with an opening to future studies and perspectives for improving the system developed to process the GPS tracking data. Indeed, applications for the positioning of carsharing across all modes of transportation would be possible by comparing the results with origin-destination surveys of representative data. The development of automated tools in order to use live GPS tracking data to produce reporting is also one of the few interesting avenues to be pursued in the future.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ.....	iv
ABSTRACT	vi
TABLE DES MATIÈRES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES.....	xiii
LISTE DES ANNEXES.....	xvi
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.1.1 Situation de l'autopartage.....	2
1.1.2 Utilisation actuelle des données de GPS	2
1.2 Objectifs du travail	2
1.3 Organisation du mémoire	3
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	4
2.1 L'autopartage	4
2.1.1 L'autopartage, définitions	4
2.1.2 L'autopartage, historique et croissance.....	6
2.1.3 L'autopartage, caractéristiques des usagers et leurs comportements	7
2.2 L'analyse des traces GPS	9
2.2.1 Fonctionnement d'un appareil GPS	9
2.2.2 Applications de l'utilisation d'appareils GPS	11
2.3 Les chaînes de déplacements.....	16
2.3.1 Définitions d'une chaîne de déplacements.....	16

2.3.2	Les arrêts dans une chaîne de déplacements	17
2.3.3	Les déplacements d'une chaîne.....	17
2.3.4	Types de chaînes de déplacements.....	17
CHAPITRE 3	MÉTHODOLOGIE.....	19
CHAPITRE 4	SYSTÈME D'INFORMATION	21
4.1	Montage des données	21
4.1.1	Tables de données sources	21
4.1.2	Tables de résultats	26
4.2	Automatisation des traitements	32
4.2.1	Calcul de distance des données de positionnement.....	32
4.2.2	Construction de la matrice origine-destination (version 1).....	33
4.2.3	Construction de la table des chaînes de déplacements (version 1)	35
4.2.4	Construction de la matrice origine-destination (version 2).....	38
4.2.5	Construction de la table des chaînes de déplacements (version 2)	40
4.3	Les données rejetées.....	41
4.4	Traitements manuels	42
4.4.1	Utilisation de SIG.....	43
4.5	Résumé du système d'information.....	44
CHAPITRE 5	CHOIX DU CRITÈRE D'ARRÊT	46
5.1	Types de variation du critère d'arrêt	46
5.2	Variations des données en fonction des critères d'arrêts	46
5.3	Représentation spatiale des différences.....	49
5.4	Choix du critère d'arrêt	51
CHAPITRE 6	ANALYSE DES RÉSULTATS	52

6.1	Les arrêts	52
6.2	Les déplacements	58
6.3	Les chaînes de déplacements.....	72
CHAPITRE 7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES		83
7.1	Contributions	83
7.2	Limitations	84
7.3	Perspectives futures.....	85
BIBLIOGRAPHIE		86
ANNEXES		89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 - Définitions administratives de l'autopartage (Millard-Ball et al., 2005).....	5
Tableau 2.2 - Règles de l'algorithme de détection de mode (Gong et al., 2012)	13
Tableau 2.3 - Règles d'interprétation de l'algorithme (Bohte & Maat, 2009).....	14
Tableau 4.1 - Table de données de positionnement GPS automatiques.....	22
Tableau 4.2 - Table de données de positionnement GPS événementielles	22
Tableau 4.3 - Table de données des transactions	23
Tableau 4.4 - Table de données des usagers	23
Tableau 4.5 - Table de données de véhicules.....	24
Tableau 4.6 - Description des champs des tables de données brutes	25
Tableau 4.7 - Table de données de positionnement	26
Tableau 4.8 - Table de la matrice origine-destination (partie 1).....	27
Tableau 4.9 - Table de la matrice origine-destination (partie 2).....	27
Tableau 4.10 - Descriptions et sources d'information de la table de déplacements, matrice OD ..	28
Tableau 4.11 - Table des chaînes de déplacements (partie 1).....	30
Tableau 4.12 - Table des chaînes de déplacements (partie 2).....	30
Tableau 4.13 - Descriptions et sources d'information de la table de chaînes de déplacements	30
Tableau 4.14 - Chaînes de déplacements invalides.....	41
Tableau 5.1 - Résumé des données de déplacements par critère d'arrêt	47
Tableau 6.1 - Arrêts selon le type	53
Tableau 6.2 - Répartition de la durée des arrêts par intervalle de temps selon la catégorie et le sexe.....	56
Tableau 6.3 - Distribution des lieux de départ de chaînes par secteur municipal	57
Tableau 6.4 - Distribution des lieux d'arrêts par secteur municipal	58

Tableau 6.5 - Proportions des catégories de déplacement selon les distances parcourues	63
Tableau 6.6 - Matrice Origine-Destination des secteurs municipaux regroupés en régions.....	70
Tableau 6.7 - Proportion des temps où le véhicule est en mouvement selon la durée de chaînes .	78
Tableau 6.8- Répartition de la distance parcourue selon le nombre de déplacements.....	82
Tableau 6.9 - Résumé de la durée des arrêts et des distances parcourues.....	82
Tableau B.1 - Distance moyenne et nombre d'occurrences des déplacements selon le secteur municipal de départ	90
Tableau C.1 - Distance moyenne, occurrence et proportion des déplacements internes par secteur municipal	912
Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination par secteur municipal	914

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 - Positionnement de l'autopartage parmi les modes de transport conventionnels (Schwartz, 1999)	6
Figure 2.2 - Croissance de marché de l'autopartage au Canada et aux États-Unis (Shaheen et al., 2009).....	7
Figure 2.3 - Motif d'utilisation et caractéristiques de croissance de l'autopartage (Millard-Ball et al., 2005).....	9
Figure 2.4 - Positionnement GPS dans une zone urbaine ouverte (Lu et al., 2007)	10
Figure 2.5 - Positionnement GPS dans une zone urbaine dense (Lu et al., 2007)	11
Figure 2.6 - Schématisation de l'algorithme de détection de mode (Gong et al., 2012)	12
Figure 2.7 - Illustration des différents types de chaînes (Valiquette, 2010)	18
Figure 3.1 - Méthodologie utilisée	20
Figure 4.1 - Utilisation des tables de données pour obtenir un lien déplacement-réservation.....	38
Figure 4.2 - Arrêts et secteurs municipaux du Grand Montréal.....	43
Figure 4.3 - Synthèse du système d'information	44
Figure 4.4 - Exemple d'application de l'algorithme sur un cas réel	45
Figure 5.1 - Nombre de déplacements en fonction de la distance parcourue par critère d'arrêt....	48
Figure 5.2 - Représentation géographique des arrêts de 5 à 10 minutes	49
Figure 5.3 - Arrêts de 5 à 10 minutes et stations Communauto	50
Figure 5.4 - Arrêts de plus de 10 minutes et stations Communauto	51
Figure 6.1 - Répartition de la durée des arrêts par catégorie.....	53
Figure 6.2 - Répartition de la durée des arrêts par sexe	54
Figure 6.3 - Répartition de la durée des arrêts à la résidence par sexe	55
Figure 6.4 - Répartition de la durée des arrêts urbains/interurbains par sexe	55
Figure 6.5- Distribution des distances de tous les déplacements	59

Figure 6.6 - Répartition des distances de tous les déplacements	60
Figure 6.7 - Répartition des distances des déplacements selon le sexe.....	60
Figure 6.8 - Répartition des distances des déplacements urbains VS interurbains	61
Figure 6.9 - Répartition des distances des déplacements se terminant à la résidence VS autres ...	62
Figure 6.10 - Répartition des distances de déplacements selon le type d'arrêt	62
Figure 6.11 - Distance moyenne des déplacements par groupe d'âge d'usagers	64
Figure 6.12 - Nombre moyen de déplacements par usager selon le groupe d'âge.....	65
Figure 6.13 - Distance moyenne des déplacements par jour de la semaine	66
Figure 6.14 - Nombre moyen de déplacements par usager par jour de la semaine.....	66
Figure 6.15 - Secteurs municipaux selon le nombre de points d'origine de déplacements	67
Figure 6.16 – Distance moyenne (km) des déplacements dont l'origine appartient au secteur	68
Figure 6.17 - Pourcentage de déplacements internes par secteur municipal	69
Figure 6.18- Secteurs municipaux regroupés par régions	71
Figure 6.19 – Distribution des distances des chaînes selon le sexe	73
Figure 6.20 – Distribution de la durée des chaînes selon le sexe.....	74
Figure 6.21 – Distribution de la durée des arrêts cumulés des chaînes selon le sexe	75
Figure 6.22 – Comparaison des durées totales des chaînes et des durées à l'arrêt	76
Figure 6.23 – Proportion des temps à l'arrêt par chaîne de déplacements.....	77
Figure 6.24 – Proportions de toutes les chaînes comportant des arrêts au domicile.....	79
Figure 6.25 – Distribution des chaînes selon le nombre de déplacements effectués	80
Figure 6.26 – Répartition des chaînes globales selon la distance parcourue	80
Figure 6.27 - Répartition de la distance parcourue selon le nombre de déplacements des chaînes	81
Figure A.1 - Transfert de coordonnées (X,Y) en (N,E) UTM 18 – VBA	89

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

GPS	Global Positioning System
SIG	Système d'Information Géographique
SM	Secteurs Municipaux
SQL	Structured Query Language
VBA	Visual Basic for Applications

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – Transfert de coordonnées X,Y en UTM VBA.....	86
ANNEXE B – Distance moyenne et nombre d'occurrences des déplacements selon le secteur municipal de départ	87
ANNEXE C – Distance moyenne, occurrence et proportion des déplacements internes par secteur municipal	89
ANNEXE D – Matrice Origine-Destination par secteur municipal.....	91

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Depuis quelques années, l'intérêt d'une partie de la population ne cesse de croître en ce qui a trait à la recherche de modes de transports alternatifs afin de diminuer la dépendance à la voiture traditionnelle et aux inconvénients environnementaux et économiques qui l'accompagne. Les gens se tournent de plus en plus vers le transport en commun, d'ailleurs la société de transport de Montréal a enregistré un nombre de déplacements record dans son réseau en 2011, dépassant l'ancien record datant de 1947 (STM, 2011). Les utilisateurs du réseau routier montréalais ont également recours de plus en plus aux déplacements à vélo. Il arrive même que certaines pistes cyclables souffrent de bouchons de circulation, victimes de leur succès. Dans cette foulée de recherche de modes de déplacements alternatifs, l'autopartage a fait son apparition au Québec au milieu des années 90 et n'a cessé de croître depuis. Ce mode de transport charme ses usagers par le niveau de liberté qu'il permet et les économies environnementales et monétaires qu'il procure.

Parallèlement, les appareils de positionnement GPS ont fait leur entrée sur le marché civil, leur précision et leur accessibilité augmentent alors que leur taille et leur coût diminuent. De nombreuses applications utilisant ces appareils font surface et ils font maintenant partie du quotidien de bien des Québécois.

Au même moment que les appareils GPS se miniaturisent et qu'ils offrent la possibilité d'enregistrer des données fréquentes pouvant être conservées en archive, l'avènement des systèmes d'information survient avec leur quasi infinie capacité de stockage de données. Cette révolution technologique mène à de nombreuses possibilités d'études. Considérant qu'à ce jour, dans de nombreux domaines, la capacité accrue de stockage mène à des accumulations de quantités énormes de données enregistrées depuis de nombreuses années sans que personne ne prenne le temps de les traiter.

1.1.1 Situation de l'autopartage

Tel que mentionné dans la présentation du contexte, l'autopartage gagne en popularité depuis son apparition au milieu des années 90. Depuis, de multiples sondages ont été effectués afin de mieux comprendre les besoins des usagers, d'être en mesure de déterminer le type d'utilisation pour lequel ils empruntent les véhicules d'autopartage. En plus, ces sondages ou autres questionnaires ont souvent permis de déterminer les nouveaux marchés potentiels à l'installation de stations de véhicules. Depuis quelques années, de nombreuses études ont été effectuées en partenariat avec l'entreprise Communauto. C'est dans le cadre de cette collaboration que le présent travail est réalisé. Communauto est l'une des plus importantes organisations dans le domaine de l'autopartage et est basée à Montréal, là où la majorité de ses membres habitent.

1.1.2 Utilisation actuelle des données de GPS

Depuis la démocratisation des appareils de positionnement GPS, plusieurs véhicules d'autopartage en ont été équipés. Pour le moment, l'utilisation des données de positionnement provenant des appareils GPS installés dans de nombreux véhicules est limitée à la possibilité de pouvoir repérer le véhicule en cas de besoin : un véhicule manquant ou volé, une situation d'urgence. Cependant, le système d'information en place chez Communauto enregistre des données de positionnement pour ses véhicules équipés de GPS environ une fois toutes les 2 minutes. Une énorme banque de données est donc disponible pour être utilisée à d'autres fins que celles de contrôle ou de réaction à des situations d'urgence.

1.2 Objectifs du travail

Grâce au partenariat en place entre l'École Polytechnique de Montréal et la compagnie Communauto, il a été possible d'avoir accès à leurs bases de données afin de pouvoir effectuer ce travail de recherche.

Avec cet accès aux données, le but de ce travail est d'être en mesure de caractériser les déplacements effectués par les usagers de l'autopartage à partir de leurs traces GPS. La réalisation de ce travail permettra d'obtenir un portrait jusqu'alors inconnu des déplacements réels effectués. De nombreuses analyses seront possibles en lien avec des caractéristiques des

usagers eux-mêmes, en plus de celles de leurs déplacements, tout en restant anonymes. Afin d'être en mesure d'exploiter ces données, un système d'information doit être développé pour transférer les points de positionnement GPS en des chaînes de déplacements structurées et cohérentes en lien avec les transactions effectuées par les usagers.

1.3 Organisation du mémoire

Le présent mémoire se divise en cinq parties. Premièrement, une revue de la littérature concernant les sujets en lien avec ce travail sera présentée. Les trois principaux sujets développés sont : l'autopartage, l'analyse des traces GPS et les chaînes de déplacements. Deuxièmement, une courte méthodologie décrivant les étapes et les fondements de la démarche suivie lors de ce travail sera abordée. Troisièmement, le système d'information qui a été développé dans le but de construire les tables de déplacements et de chaînes sera présenté. La présentation de cette partie se fera avec un niveau de détail modéré, permettant de comprendre le fonctionnement derrière le système sans surcharger le lecteur d'informations non utiles à la compréhension globale. Quatrièmement, une section sera consacrée entièrement au choix du critère d'arrêt utilisé lors de l'identification des déplacements. L'importance de l'impact que ce critère peut avoir sur les résultats sera mise en évidence. Cinquièmement, une brève analyse de certains résultats obtenus suite à l'identification des déplacements et des chaînes par le système d'information sera exposée. Cette analyse constitue un survol des possibilités de développement des résultats et des manipulations statistiques possibles sur les données de déplacements créées. Finalement, une section traitant des réalisations, des limitations et des perspectives futures en lien avec ce travail viendra conclure l'ouvrage.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre dresse une revue des différents travaux réalisés précédemment par différents auteurs. Cette revue constitue une étape nécessaire avant d’entrer dans l’aspect spécifique de ce mémoire. En effet, une bonne connaissance des domaines d’études se rapportant au travail effectué est importante afin de profiter des différentes publications pouvant aiguiller et justifier la nécessité de ce mémoire. Le présent projet se base sur trois grandes catégories de sujets qui, comme il sera mis en évidence, n’ont pas été régulièrement traités conjointement. Ces trois axes sont l’autopartage, l’analyse des traces GPS et les chaînes de déplacements.

2.1 L’autopartage

Afin d’être en mesure de bien comprendre l’autopartage, un bref survol des publications couvrant le sujet sera réalisé. La définition de l’autopartage constitue le premier point à couvrir, suivi de son historique et de sa croissance, d’un portrait des usagers de ce mode de transport puis de la présentation des ouvrages traitant de son utilisation.

2.1.1 L’autopartage, définitions

Il n’existe pas de définition unique pour l’autopartage, le mot lui-même ne se trouve pas dans la plupart des dictionnaires standards encore à ce jour. Ce que l’autopartage représente est en fait quelque chose situé entre le transport en commun, l’utilisation d’une automobile à titre de propriétaire et la location de voiture traditionnelle. Des nombreuses définitions ont été élaborées afin de préciser ce qui était entendu lorsque le mot autopartage, « carsharing » en anglais, était utilisé. Ces définitions regroupées dans le Tableau 2.1 tiré de l’étude de 2005 du TCRP (Millard-Ball, Murray, Ter Schure, Fox & Consulting, 2005) ont été développées principalement pour des fins de normes et/ou règlements administratifs. L’aspect de membre est présent dans plusieurs de ces définitions, mais la partie importante est la mise de l’avant de l’utilisation d’un même véhicule par plusieurs usagers/membres pour une période déterminée en échange d’une tarification établie. Le concept d’accès à une flotte commune de véhicule est un élément qui ressort dans de nombreuses définitions tout comme le fait que les réservations sont effectuées sur une base horaire : heure par heure. Des distinctions sont également inscrites pour ne pas confondre avec les compagnies de location de voitures.

Tableau 2.1 - Définitions administratives de l'autopartage (Millard-Ball et al., 2005)

Organization	Definition	Source
North American		
City of Toronto	Carsharing is the practice where a number of people share the use of one or more cars that are owned by a profit or non-profit carsharing organization. To use a vehicle a person must meet the membership requirements of the carsharing organization, including the payment of a membership fee that may or may not be refundable. Cars are reserved in advance and fees for use are normally based on time and miles driven. Carsharing organizations are typically residentially based with cars parked for convenient access within the area of the membership served by the organization.	City of Toronto, 2000
State of Washington	A membership program intended to offer an alternative to car ownership under which persons or entities that become members are permitted to use vehicles from a fleet on an hourly basis.	Revised Code of Washington § 82.70.010 (5)
State of Oregon	A program in which drivers pay to become members in order to have joint access to a fleet of cars from a common parking area on an hourly basis. It does not include operations conducted by a car rental agency.	Oregon Administrative Rules 330-090-0110 (7) (Business Energy Tax Credit)
District of Columbia	Car-sharing vehicle – any vehicle available to multiple users who are required to join a membership organization in order to reserve and use such vehicle, for which they are charged based on actual use as determined by time and/or mileage.	District of Columbia Municipal Regulations, § 9901
State of Minnesota (Pending Legislation). Note that this only includes 501(c) nonprofit operators.	A "carsharing organization" means an organization that: (1) is described in section 501(c) of the Internal Revenue Code; (2) is comprised of members who purchase the use of a motor vehicle from the organization; (3) owns or leases a fleet of motor vehicles that are available to members of the organization to pay for the use of a vehicle on an hourly or per trip basis; and (4) does not assign exclusive rights of use of specific vehicles to individual members or allow individual members to keep a vehicle in the member's sole possession.	Senate Bill SF1229 (Dibble), as introduced 84 th Legislative Session (2005-2006)
European		
Belgium (Draft)	Car vehicles put at the disposal of members against payment for a limited duration of use according to contractual conditions determined by [the car-sharing organization], to the exclusion of car rental and leasing.	Rydén and Morin (2004)
Swedish National Road Administration (Draft)	Car-sharing means that a number of persons share the use of one or more cars. Use of a car is booked beforehand, the user paying a fee based on the distance driven and the length of time the car was made use of. Although this is similar in some ways to traditional car rental, it differs in the possibility it provides of booking a car for short periods of time and in the rental agreement being made for an extended period of time, rather than each time a car is used. In addition, each household has its own set of keys, and cars are placed in the vicinity of where members live. In the case of company car-sharing, the keys and the cars are being readily available at the place of work. "Key" is here equal to smartcard or similarities.	Vägverket, 2003

Une distinction qui est importante de souligner, puisqu'il s'agit souvent d'une source de confusion, est la différence entre l'autopartage et le covoiturage. Ce dernier est attribuable à une utilisation d'un même véhicule par plusieurs passagers dans le but de réduire le nombre d'automobiles utilisées pour des déplacements communs. L'autopartage est en fait plus près de la location de véhicule traditionnelle que du covoiturage, cependant son utilisation est habituellement effectuée sur une plus courte période. La Figure 2.1 montre l'espace niche que vient occuper l'autopartage dans le portrait global de la mobilité en fonction de la durée de l'utilisation et de la distance à parcourir.

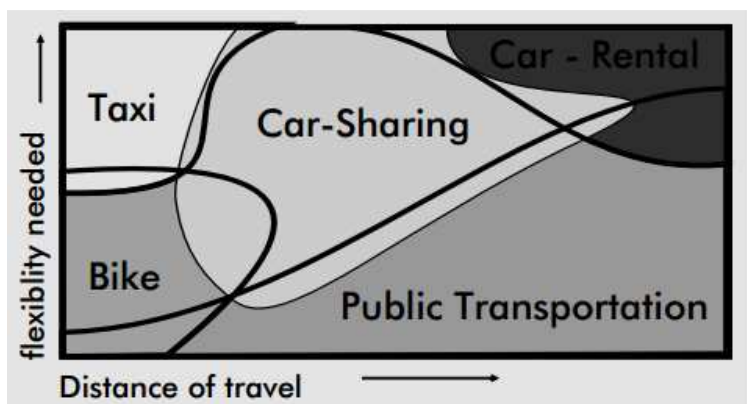


Figure 2.1 - Positionnement de l'autopartage parmi les modes de transport conventionnels (Schwartz, 1999)

L'autopartage permet la liberté de mobilité que représente une automobile, sans devoir en posséder une et assumer tous les coûts qui s'y rattachent, puisque ceux-ci sont partagés entre les membres. (Robert, 2005) La possession d'un véhicule, un bien matériel, est substituée par une location, l'utilisation d'un service, en offrant les mêmes possibilités de mobilité.

2.1.2 L'autopartage, historique et croissance

L'histoire de l'autopartage, tel que défini précédemment est relativement récente. L'apparition et la croissance de l'autopartage dans le paysage nord-américain est décomposé en trois phases : la mise en marché et expérimentation de 1994 à mi-2002, la croissance et diversification du marché de mi-2002 à fin 2007 et la commercialisation de fin 2007 à maintenant (Shaheen et al., 2009). La première phase comprend la création des premières organisations d'autopartage au Canada et aux États-Unis, respectivement en 1994 et 1998. Les premières organisations sont créées sous diverses formes légales, organisations sans but lucratif, coopérative, programmes de recherche. À la fin de la phase 1, 24 organisations nord-américaines sont présentes dans le portrait de l'autopartage, totalisant 17161 membres (Shaheen et al., 2009). La phase deux montre une forte progression du nombre de membres en plus d'une meilleure structuration des organisations et de la création d'un regroupement informel des différentes entreprises d'autopartage. Environ 200 000 membres répartis dans 31 organisations à la fin de la deuxième phase (Shaheen et al., 2009). La troisième phase, phase actuelle est marquée par l'entrée en scène de compagnies de location de voiture traditionnelles dans le marché de

l'autopartage, en plus d'une augmentation de la visibilité et de la compréhension de l'impact de l'autopartage dans un milieu (Shaheen et al., 2009).

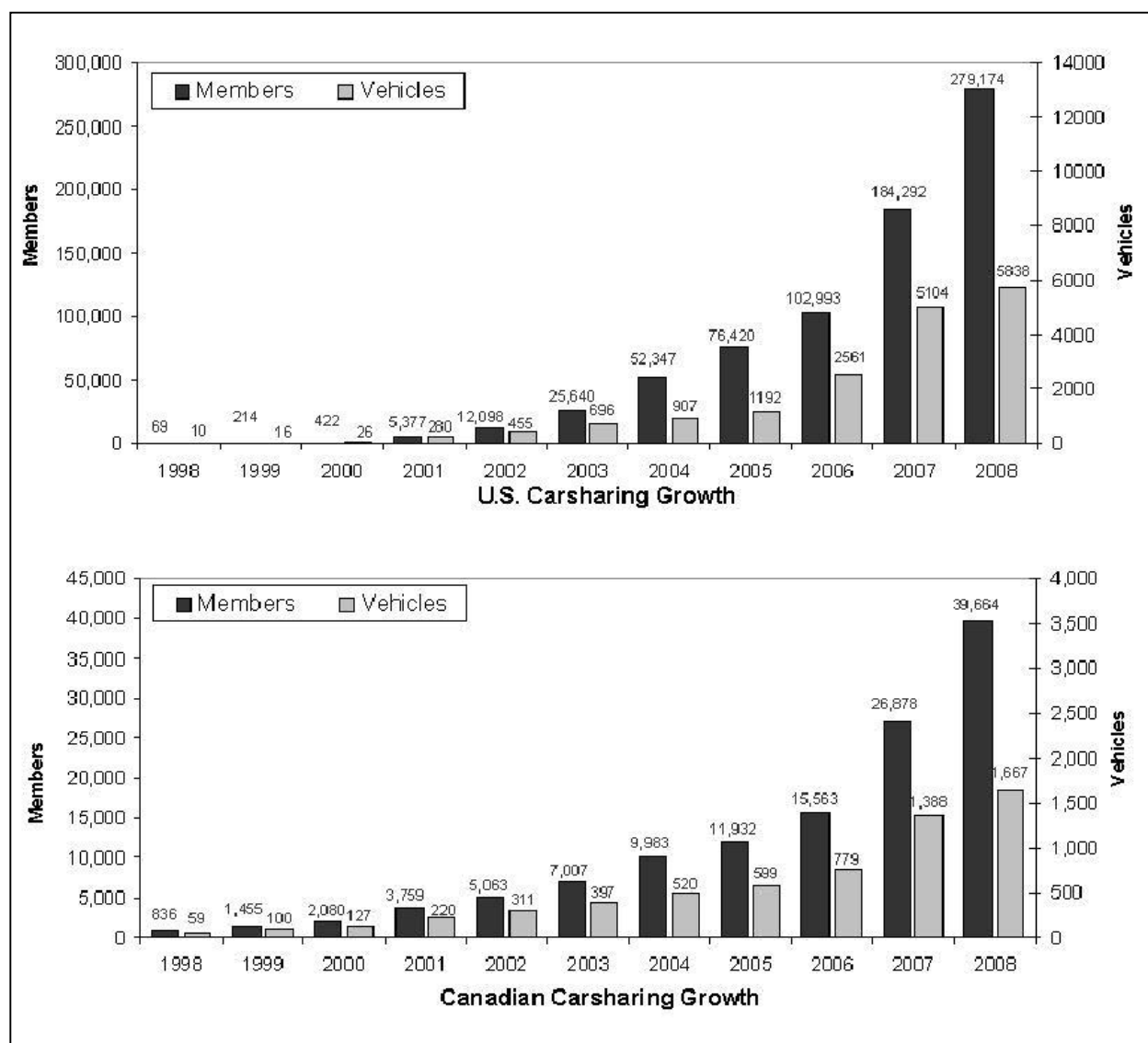


Figure 2.2 - Croissance de marché de l'autopartage au Canada et aux États-Unis (Shaheen et al., 2009)

2.1.3 L'autopartage, caractéristiques des usagers et leurs comportements

Avec le gain en popularité, l'autopartage, comme moyen de transport alternatif, a attiré les chercheurs vers une recherche de caractéristiques de ces usagers et à tenter de comprendre leur comportement lors de l'utilisation des véhicules. Une classification des usagers de l'autopartage basée sur les transactions effectuées et le nombre de kilomètres parcourus à l'aide

de technique de data mining a été réalisé sur des données d'utilisateurs de Montréal (Morency et al., 2011). Cette étude parvient à caractériser deux principaux types d'utilisateurs, une partie effectuant environ 2,2 transactions par semaine, représentant 14% des membres et une seconde partie effectuant environ 0,4 transaction pour la même période. Les auteurs ont également identifiés cinq différents comportements hebdomadaires distincts au point de vue de l'utilisation. En outre, deux groupes ont été créés en termes de distance parcourue sur une base hebdomadaire, les usagers parcourant environ 14,4 km attribuables à 87% des membres et un deuxième groupe d'utilisateurs parcourant en moyenne 76,8 km en une semaine.

Les motifs pour lesquels un utilisateur décide d'utiliser un véhicule en autopartage sont variés. (Cervero & Tsai, 2004) Lors d'un sondage sur le système d'autopartage de San Francisco montre que 30% des motifs d'utilisation sont liés au magasinage. Ce sondage montre également que plus des deux tiers (68,9%) des utilisations sont composés d'un aller-retour vers un endroit d'intérêt. Le sondage réalisé dresse également un portrait des usagers eux-mêmes. Les gens âgés de 24 à 34 ans sont surreprésentés, tout comme les femmes qui constituent une plus grande part des abonnés que leur proportion dans la population en général. Le revenu médian des usagers pour ce sondage est situé à 57 000 \$ par an, la majorité (plus de 90%) des usagers travaillant dans des professions libérales.

D'autres sondages ont été effectués montrant que les usagers de l'autopartage sont généralement éduqués (48% ont des études supérieures), ils sont également soucieux de l'environnement et considèrent la voiture comme un moyen de se déplacer d'abord en accordant peu d'importance à l'apparence et aux marques (Millard-Ball et al., 2005). Le sondage fait ressortir une répartition des motifs d'utilisation des véhicules d'autopartage (Figure 2.3). Lorsque l'on additionne le magasinage régulier à l'épicerie, l'on obtient la principale catégorie avec 33% des utilisations. Une présentation de quelques variables influençant la progression rapide de l'utilisation de l'autopartage comparativement aux caractéristiques qui freine cette progression est présente à la (Figure 2.3).

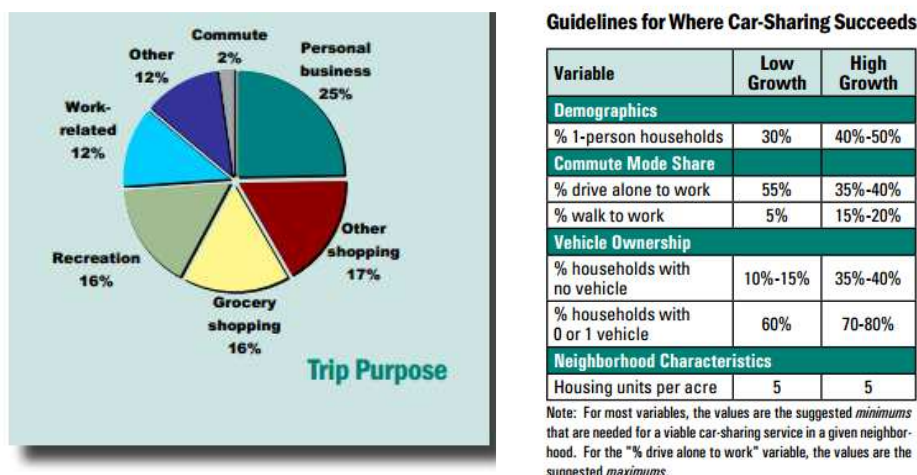


Figure 2.3 - Motif d'utilisation et caractéristiques de croissance de l'autopartage (Millard-Ball et al., 2005).

Ce survol rapide des recherches effectuées sur l'autopartage permet de mieux situer le concept et le niveau de compréhension actuel de ce mode de transport alternatif. Il ne s'agit pas ici d'une revue exhaustive du sujet, mais bien d'un rapide aperçu des aspects pouvant simplifier la compréhension du présent travail et d'établir sa pertinence dans le contexte actuel.

2.2 L'analyse des traces GPS

La technologie GPS ne date pas d'hier, elle a en effet été développée il y a plus de 40 ans, cependant l'utilisation des données historiques que ces appareils sont en mesure de fournir et que les systèmes d'information actuels permettent de stocker sont beaucoup plus récentes. Afin de comprendre l'importance de l'analyse des traces GPS, il est d'abord important de comprendre le fonctionnement de l'appareil pour ensuite présenter les diverses applications possibles.

2.2.1 Fonctionnement d'un appareil GPS

Lorsque l'on parle d'un dispositif GPS, il est en fait question d'un système permettant un positionnement plus ou moins précis d'un appareil à l'aide de signaux satellites. Ces satellites, au nombre de 24, sont en orbite autour de la Terre dans des trajectoires spécifiques faisant en sorte qu'à tout moment au moins 4 satellites sont visibles de n'importe quel point du globe. Ces satellites, par la réception et l'envoi d'un signal, permettent de déterminer les coordonnées en X, Y, Z et même la vitesse (Mintsis et al., 2004). La technologie GPS a été développée dans les années 70 par l'armée américaine sous le nom de NAV STAR. Les premières applications civiles

ont vu le jour dans les années 90 avec une limitation de précision imposée à l'utilisation non militaire. Cette limitation artificielle a été retirée au début des années 2000 afin d'obtenir un système de positionnement GPS de grande précision dans les domaines civils (Mintsis et al., 2004).

L'utilisation des GPS s'est grandement développée avec les années, de nombreuses applications ont fait surface, la taille des appareils a été réduite tout comme leur coût. C'est en 2005 que le premier GPS pouvant être qualifié de réellement portable voit le jour, le *NEVE StepLogger*. Il a environ la taille d'un téléphone cellulaire et pèse 103g (Stopher et al., 2008). Avec l'apparition de ce dispositif portable, de nouvelles applications voient le jour. Malgré toutes les améliorations apportées à la technologie, des erreurs de positionnement surviennent encore. Les auteurs de (Lu et al., 2007) montrent que dans le contexte d'un secteur urbain dense, des erreurs de positionnement sont fréquentes. Une étude de terrain sur des équipements de construction dans la région de Hong-Kong a été effectuée. Les résultats de cette étude (Figure 2.4 et Figure 2.5) montrent une bonne précision pour les zones ouvertes en secteur urbain, mais de grands écarts lors du positionnement en zone urbaine dense, entre des édifices de grande taille (canyon urbain) par exemple. La précision générale du positionnement GPS se situe entre 10 et 20 mètres, cependant dans les cas à haute densité, 40% des points ont des écarts supérieurs à 20 mètres et 9% sont supérieurs à 100 mètres. Les auteurs soutiennent donc que le seul positionnement GPS est insuffisant pour un suivi précis de véhicule dans des zones urbaines denses.

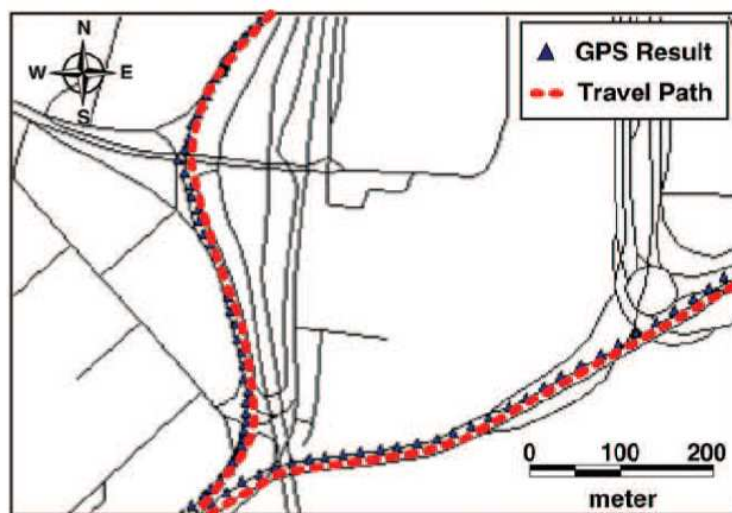


Figure 2.4 - Positionnement GPS dans une zone urbaine ouverte (Lu et al., 2007)

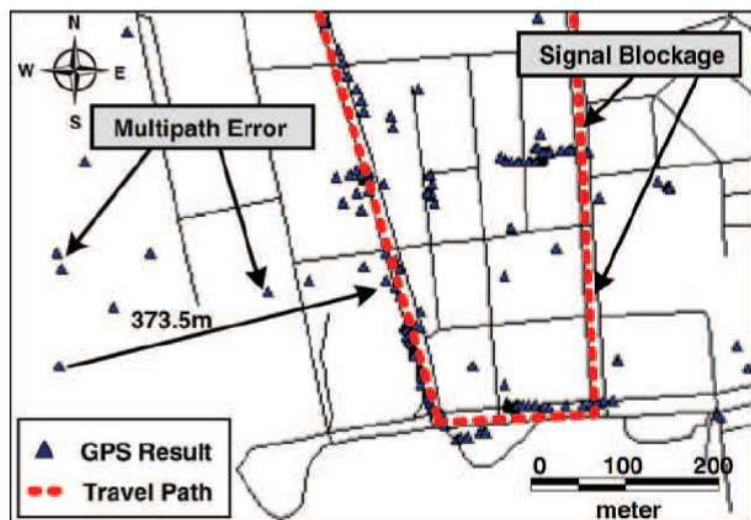


Figure 2.5 - Positionnement GPS dans une zone urbaine dense (Lu et al., 2007)

2.2.2 Applications de l'utilisation d'appareils GPS

Suite à la compréhension du système GPS, de son fonctionnement et des imprécisions possibles, des exemples d'utilisation de la technologie constitueront la prochaine section de cette revue.

Les données de positionnement GPS ont été utilisées dans le but de connaître le journal de bord d'un voyage sans avoir d'interaction avec l'utilisateur, ou pour améliorer la qualité de l'information fournie par l'utilisateur. En effet (Wolf, Guensler, & Bachman, 2001) ont montrés qu'il est possible de déterminer le but d'un déplacement en connaissant certaines bornes en terme de vitesse et d'information contextuelle jumelée à un SIG. L'étude a permis de prouver que les données GPS fournissent des données temporelles beaucoup plus précises que ce que tend à livrer un usager dans un journal de bord manuscrit. Le défi dans ce cas est de bien contextualiser les informations présentent dans le SIG, les lieux d'activités doivent être bien identifiés, et ce, de manière précise.

En transport, l'utilisation des GPS se fait principalement afin d'être en mesure de repérer facilement un véhicule d'une flotte, vérifier s'il suit la route préétablie, contrôler s'il est dans les délais prévus, retrouver les véhicules volés. Cependant il existe bien d'autres utilisations intéressantes.

Il est possible de déterminer le mode de transport utilisé par un usager possédant un transmetteur GPS de poche (Gong et al., 2012). Leur étude prend place dans la ville de New York et l'algorithme qu'ils développent est en mesure de distinguer cinq modes de transports distincts : la marche, l'automobile, l'autobus, le métro et le train. Le GPS de poche utilisé transmet des données en continu, les données recueillies sont traitées par l'algorithme représenté à la Figure 2.6 en respectant les règles énoncées au Tableau 2.2. Un des points principaux de l'algorithme est l'identification des lieux d'activité. Pour ce faire, ils utilisent comme critère des points dans un diamètre de moins de 50 mètres pendant plus de 200 secondes. Les résultats de l'algorithme représentent un taux de succès de 82,6% entre les modes de transports identifiés automatiquement et ceux réellement empruntés, vérifié à l'aide d'un questionnaire auprès des participants. Le mode de transport le mieux identifié est la marche, 92,4% des fois, et le moins bien identifié est le train avec seulement 35,7% de bonnes identifications.

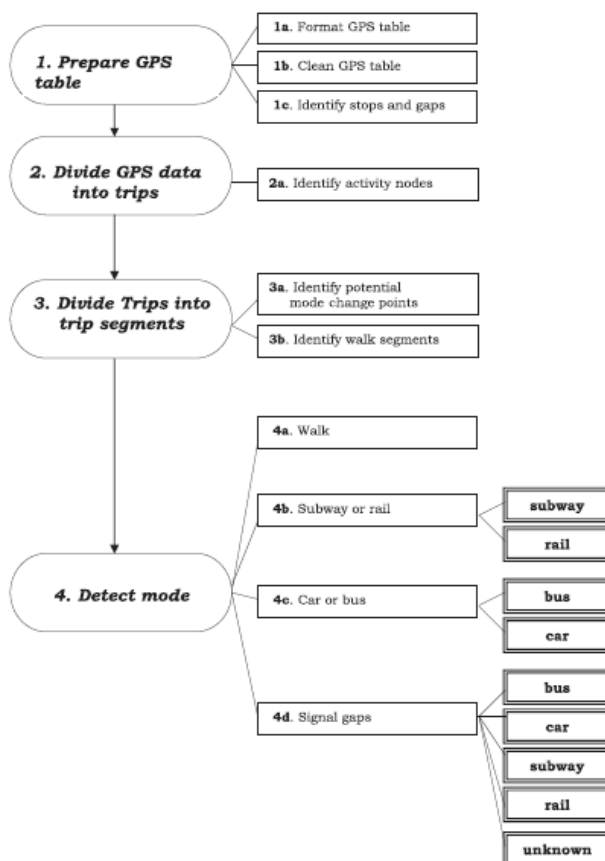


Figure 2.6 - Schématisation de l'algorithme de détection de mode (Gong et al., 2012)

Tableau 2.2 - Règles de l'algorithme de détection de mode (Gong et al., 2012)

1. Prepare GPS table
1b. Remove points if NSAT < 4 or HDOP > 4.
1c. Stops if speed < 1.6 km/h; gaps if time interval > 120 s and distance > 250 m
2. Divide GPS data into trips
2a. Activity node if a cluster of points < 50 m of each other for > 200 s
3. Divide trips into trip segments
3a. First and last points of a gap or of a walk segment > 60 s
3b. Walk segment:
(1) First point if speed ≥ 1.6 km/h and < 10 km/h
(2) Speed of each subsequent point ≤ 15 km/h
(3) Duration > 60 s
(4) 85th percentile of speed of all points ≤ 10 km/h
(5) Average speed of all points ≤ 6 km/h
4. Detect mode
4a. Similarity index
4b. Subway or commuter rail:
(1) Distance from first point of trip segment to the nearest subway entrance < 100 m or to the nearest commuter rail station < 200 m; or distance from first point of trip segment to nearest subway or commuter rail link endpoint < 200 m
(2) Distance from last point of trip segment to nearest subway entrance < 100 m or to the nearest commuter rail station < 200 m; or distance from last point of trip segment to nearest subway link endpoint < 200 m
(3) Distance from each point of trip segment to nearest subway or commuter rail link < 60 m
(4) If possibly elevated train, then distance from each stopped point to nearest subway station < 184 m or to the nearest commuter rail station < 311 m
4c. Bus:
(1) Distance from first point of trip segment to nearest bus stop < 75 m
(2) Distance from last point of trip segment to nearest bus stop < 75 m
(3) 85th percentile of speed of all points ≤ 88 km/h
(4) 95th percentile of acceleration of all points ≤ 5.4 km/h/s
Car: any remaining trip segments

Une autre méthode a été utilisée afin de déterminer les moyens de transport utilisés et les motifs des déplacements. Afin de déterminer si un arrêt est présent dans le déplacement, le critère de variation de position de 10 m est utilisé avec une durée à l'arrêt d'au moins 3 minutes (Bohte & Maat, 2009). En ce qui concerne la détection des motifs des déplacements, les adresses du domicile et du travail des différents usagers sont saisies dans la base de données dès le départ de l'étude sous un format de coordonnées X,Y. Lorsqu'un arrêt est situé à moins de 100m d'un de ces deux points, le motif du déplacement devient « résidence » ou « travail » selon le cas. Les autres déterminations d'objectifs de déplacements se font selon une règle d'identification manuelle de l'utilisateur et par la suite tout autre arrêt situé dans un rayon de 50m du lieu précédemment associé à une activité est associé à cette même activité. Les règles d'interprétations générales de l'algorithme développé par (Bohte & Maat, 2009) sont présentées au Tableau 2.3. Cette étude obtient des résultats de bonne association dans 70% des cas pour le moyen de transport utilisé et de 43% des cas pour l'identification de l'objectif du déplacement. Ces pourcentages sont obtenus par une validation a posteriori de l'utilisateur.

Tableau 2.3 - Règles d'interprétation de l'algorithme (Bohte & Maat, 2009)

<i>1. Removing unreliable trackpoints and the division into trips</i>	
1a	IF distance between trackpoint and previous trackpoint < 10 m THEN remove trackpoint ^a
1b	IF duration between trackpoint and previous trackpoint ≥ '00:03:00' THEN split track ^a
1c	IF speed_trackpoint > 200 km/h THEN remove trackpoint
1d	IF adjacent trips are within same shopping centre polygon THEN merge trips
1e	IF speed_trackpoint < 5 km/h AND duration between trackpoint and previous trackpoint > '00:01:00' THEN trackpoint = trackpoint_garbage
	IF 3 nr trackpoints_garbage within trip > nr trackpoints within trip THEN remove trip
1f	IF $\sqrt{((trip\ x_{max} - trip\ x_{min})^2 + (trip\ y_{max} - trip\ y_{min})^2)} / triplength < 0.3$ THEN remove trip
1g	IF nr trackpoints within trip < 4 THEN remove trip
<i>2. Set the category of a trip</i>	
2a	IF distance between trip end and POI < 50 m THEN set category = category POI ('shopping', 'recreation', 'culture', 'medical', 'kids' or 'railwaystation')
2b	IF endpoint trip is within railway station polygon THEN set category = 'railwaystation'
2c	IF endpoint trip is within shopping centre polygon THEN set category = 'shop'
2d	IF distance between home respondent and endpoint trip < 100 m THEN set category = 'home'
2e	IF distance between work respondent and endpoint trip < 100 m THEN set category = 'work'
2f	ELSE set category = 'unknown'
2g	IF distance between trip end and trip end with known category < 50 m AND category trip = 'unknown' THEN set category = known category
<i>3. Set the modality of a trip</i>	
3a	IF average trip_speed < 10 km/h AND max trip_speed < 14 km/h THEN set modality = 'foot'
3b	ELSE IF average trip_speed < 25 km/h AND max trip_speed < 45 km/h THEN set modality = 'bicycle'
3c	ELSE IF average trip_speed < 200 km/h AND THEN set modality = 'car'
3d	IF trackpoint is within railarea ^b THEN trackpoint = railpoint
	IF nr trackpoints within trip ≥ 20 AND max trip_speed > 20 km/h AND 2 * nr railpoints within trip > nr trackpoints within trip THEN set modality = 'train' AND set category = 'railwaystation'
<i>4. Merge and add train trips</i>	
4a	IF modality adjacent trips = 'train' THEN merge trips
4b	IF distance between endpoint previous trip and railway station < 200 m AND general direction of previous trip is towards the station AND distance between startpoint next trip and railway station < 1500 m AND general direction of next trip is away from the station AND modality previous trip OR modality next trip = 'bike' OR modality previous trip OR modality next trip = 'foot' AND duration trip > '00:03:00' AND triplength > 5000 m THEN create new trip AND set modality = 'train' AND set category = 'railwaystation'

^a Rules executed with the use of GPSbabel (OPEN source ware, see <http://www.gpsbabel.org>) before data are placed into the PostgreSQL/PostGIS-database.

^b Railarea = line element of 100 m width following rail tracks.

D'autres méthodes ont également été développées afin de repérer des déplacements et des arrêts. Parmi celles-ci, il y a l'étude menée par (Stopher et al., 2008) auprès d'automobilistes utilisant un appareil de positionnement GPS. L'objectif de l'étude était d'identifier les déplacements et les arrêts à partir des données de positionnement GPS automatiquement enregistrées. Les appareils utilisés fournissent une information de positionnement tous les 5 secondes, un algorithme de détection a donc été développé en considérant ce paramètre. Quatre conditions sont simultanément nécessaires pour qu'un point soit considéré comme une fin de déplacement. La différence de positionnement entre deux points consécutifs doit être inférieure à 6m, la direction indiquée doit être inchangée, la vitesse doit être de zéro et ses conditions doivent être maintenues pour un minimum de 120 secondes. L'algorithme a identifié des fins de déplacements qui n'en étaient pas vraiment dans 3% des cas. Cette validation s'est effectuée à l'aide de questionnaires remplis par les usagers.

Dans une autre étude, (Du & Aultman-Hall, 2007) montre que les limites de temps auquel un véhicule doit demeurer à l'arrêt pour que le point soit considéré comme une fin de déplacement varient selon les conditions routières et l'achalandage des différentes villes. Ils proposent un fonctionnement avec deux critères de détection d'arrêts dans le temps. Un premier critère, plus court, en deçà duquel aucune fin de déplacement n'est considérée comme possible est déterminé : 20 secondes dans le cas de leur étude. Un deuxième critère, le plus long, au-delà duquel une fin de déplacement est considérée comme certaine : 2 minutes dans le cas de l'étude. Ensuite, il y a une deuxième analyse sur les fins de déplacements attribuées à des arrêts situés entre 20 secondes et 2 minutes de façon à les contextualiser et à déterminer au cas par cas s'ils composent vraiment une fin de déplacement.

Dans une tout autre perspective, des appareils GPS ont été utilisés afin de déterminer les liens pouvant exister entre les modes de déplacement actifs (marche et vélo) et l'utilisation du transport en commun (Lee, Fucci, & Lorenc, 2011). L'objectif de l'étude étant différent de celui présenté précédemment, les moyens pour y arriver sont assez similaires. Des participants sont équipés d'appareils GPS fournissant une position à toutes les 4 secondes. Les différents points sont enregistrés et des segments de déplacements sont créés. Les lieux d'arrêts et les modes de transports sont déterminés selon un algorithme prédéfini. Une fois identifiés, les différents déplacements sont compilés selon leur catégorie afin de voir les relations existantes entre les modes de transport actifs et les utilisateurs du transport en commun.

L'utilisation d'appareils GPS est également présente dans le domaine de l'analyse de processus de décision dans le choix de routes empruntées. (Papinski, Scott, & Doherty, 2009) montre qu'il existe des écarts importants, pour 20% de l'échantillon, entre ce que les gens planifient comme itinéraire pour se rendre au travail et les routes réellement empruntées, l'utilisation des données recueillies par l'appareil GPS permet d'obtenir des données exactes sur les chemins utilisés et de comprendre le raisonnement derrière les choix de changement d'itinéraire.

Il existe de nombreuses autres applications des technologies GPS dans de nombreux domaines, mais seulement quelques exemples des applications les plus en liens avec le présent travail ont été présentés. Les principaux points à retenir concernant cette technologie sont le fonctionnement des appareils, les risques d'imprécision, la possibilité d'identifier des arrêts à des fins d'activités et les distinctions des modes de transport.

2.3 Les chaînes de déplacements

Les chaînes de déplacements font partie du quotidien de tout le monde, sans nécessairement être en mesure de les identifier. Ces chaînes et les éléments qui les composent seront donc définis afin d'éclaircir le vocabulaire utilisé et ainsi simplifier la compréhension du présent travail.

2.3.1 Définitions d'une chaîne de déplacements

La définition en elle-même d'une chaîne de déplacements ne fait pas l'unanimité chez les différents auteurs qui ont écrit sur le sujet. En effet, deux courants de pensée principaux s'opposent, les différents reposent sur la considération du point de départ/arrivée de la chaîne. En effet, (McGuckin & Murakami, 1999) définit une chaîne comme étant l'ensemble des déplacements inclus entre deux points d'ancrage, ces points d'ancrage sont généralement les lieux de l'activité primaire, soit le lieu de résidence, de travail ou d'étude. La vision opposée suggère que la chaîne de déplacements comprenne tous les déplacements effectués entre le moment où l'utilisateur quitte son domicile et le moment où il y revient (Primerano, Taylor, Pitaksringkarn, & Tisato, 2008).

La pertinence de traiter des chaînes de déplacements dans leur ensemble est également abordée dans la littérature. En effet, il semble raisonnable de se demander quel est l'impact d'analyser les chaînes d'un point de vue global plutôt que de se concentrer sur l'analyse des déplacements qui les composent. La réponse à ce questionnement vient du fait que les déplacements à l'intérieur d'une chaîne peuvent influencer les déplacements qui les précèdent ou les succèdent puisque les déplacements sont effectués dans le but d'exécuter une activité. Les auteurs (Vande Walle & Steenberghen, 2006) et (Roorda, Miller, & Nurul Habib, 2008) ont montré que l'ajout d'activités à une chaîne de déplacement permet de sauver du temps pour l'exécution globale de l'ensemble des activités. De plus, ils sont arrivés à la conclusion que les individus qui consolident leurs activités dans

de longues chaînes de déplacements ont tendance à effectuer un plus grand nombre d'activités dans une journée que ceux qui en consolident moins dans une même chaîne.

2.3.2 Les arrêts dans une chaîne de déplacements

Dans la littérature, de nombreux auteurs abordent le concept d'arrêt. Cet élément est parfois appelé lieu d'activité : ces activités peuvent être primaires ou secondaires. Les spécificités afin qu'un arrêt soit considéré peuvent varier d'un auteur à l'autre. Cependant ce que l'arrêt représente dans le contexte de voyageant est plutôt unanime. De manière simple, l'arrêt est un point situé entre deux déplacements ou à la fin du dernier déplacement d'une série.

2.3.3 Les déplacements d'une chaîne

Les déplacements font partie de la mobilité des individus. Souvent appelé « trip segment » dans la littérature, le déplacement représente une composante des chaînes de déplacements, il s'agit du trajet effectué entre deux lieux d'activité. Leurs caractéristiques dépendent donc grandement des critères choisis afin d'établir si un point donné est considéré comme un arrêt, un lieu d'activité.

2.3.4 Types de chaînes de déplacements

Il existe plusieurs catégories de chaînes de déplacements, (Primerano et al., 2008) a établi une typologie. Les chaînes de déplacements se séparent en trois catégories basées sur le nombre de déplacements inclus dans la chaîne elle-même. La première catégorie est appelée « chaîne simple », elle est constituée d'un aller-retour du point de départ vers un lieu d'activité puis d'un retour au point de départ, il s'agit donc d'une chaîne de deux déplacements avec le même point de début et de fin. La deuxième catégorie est appelée « chaîne complexe » et comprend les chaînes composées de plusieurs activités et donc de plus de deux déplacements avec un retour au point de départ en fin de chaîne. La troisième et dernière catégorie est appelée « chaîne ouverte » et représente un ou plusieurs déplacements au sein d'une chaîne où le lieu d'arrivée est différent du lieu de départ de la chaîne.

Les chaînes complexes peuvent ensuite être subdivisées en deux sous catégories, les chaînes « mono-boucle » et les chaînes « multi-boucles ». Les chaînes mono-boucle sont constituées de déplacements consécutifs sans retour à des points d'ancrage. À l'opposé, les

chaînes multi-boucles sont composées d'au minimum un retour à un point d'ancrage, par exemple la chaîne suivante serait qualifiée de multi-boucle, maison-travail-restaurant-travail-épicerie-maison Figure 2.7. (Valiquette, 2010)

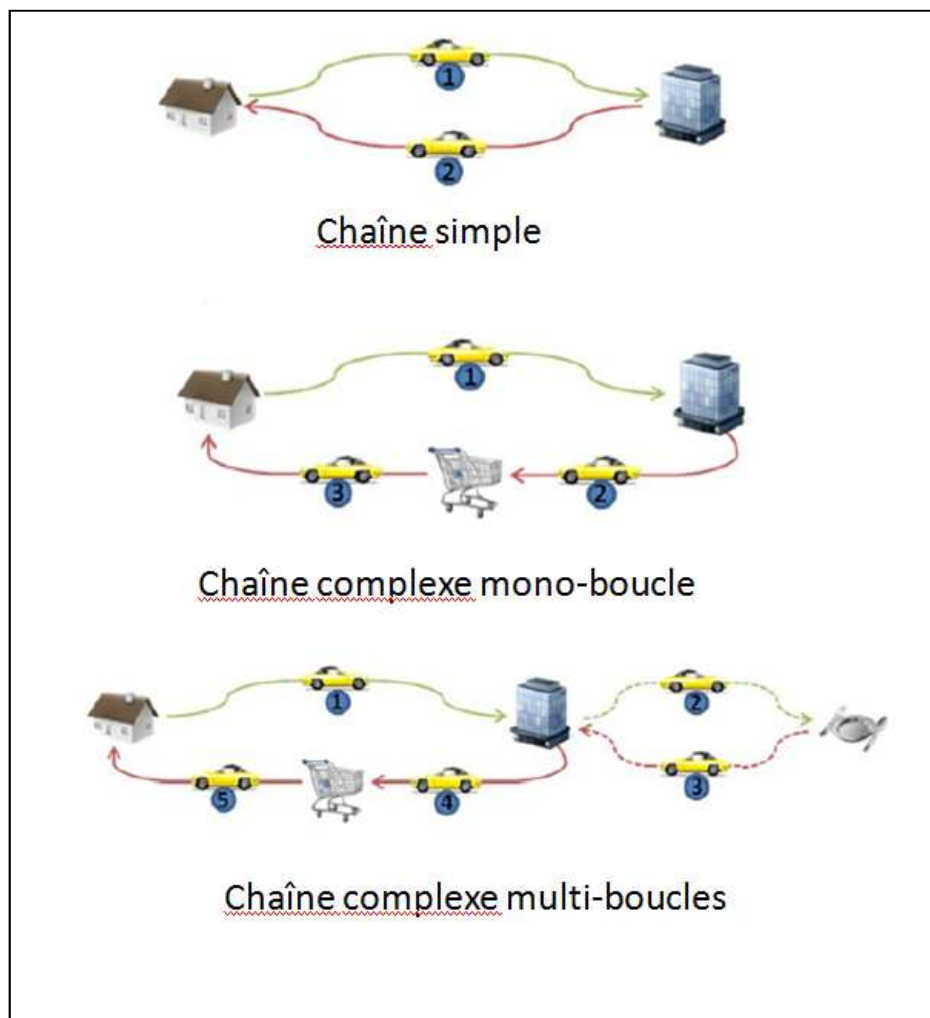


Figure 2.7 - Illustration des différents types de chaînes (Valiquette, 2010)

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, il sera question de la méthodologie utilisée afin de réaliser ce travail.

Les données fournies par Communauto sont sous une forme brute. Dans la perspective de vouloir les traiter, afin d'être en mesure de caractériser les déplacements des usagers de l'autopartage, un système d'information doit être développé.

Ce système d'information utilise donc les données de positionnement GPS afin de construire une table de déplacements sous la forme d'une matrice origine-destination. Pour ce faire, la détermination du critère d'arrêt est nécessaire afin d'être en mesure d'identifier la fin d'un déplacement. Ces déplacements sont ensuite jumelés dans le but de construire des chaînes de déplacements. Les données transactionnelles étant complètement séparées des données de positionnement, un algorithme de recherche de réservations associées à une chaîne est développé et utilisé.

Par la suite, afin d'enrichir les données d'informations supplémentaires, le recours à un SIG est nécessaire dans le but de déterminer si les déplacements sont considérés interurbains. Le recours à des algorithmes de calcul de distance est également requis pour exploiter au maximum les données disponibles. La Figure 3.1 représente une synthèse graphique de cette méthodologie de manière ordonnée avec les chapitres du travail. Les détails concernant le système d'information développé afin d'extraire des analyses à partir des données brutes de GPS sont traités dans le chapitre suivant.

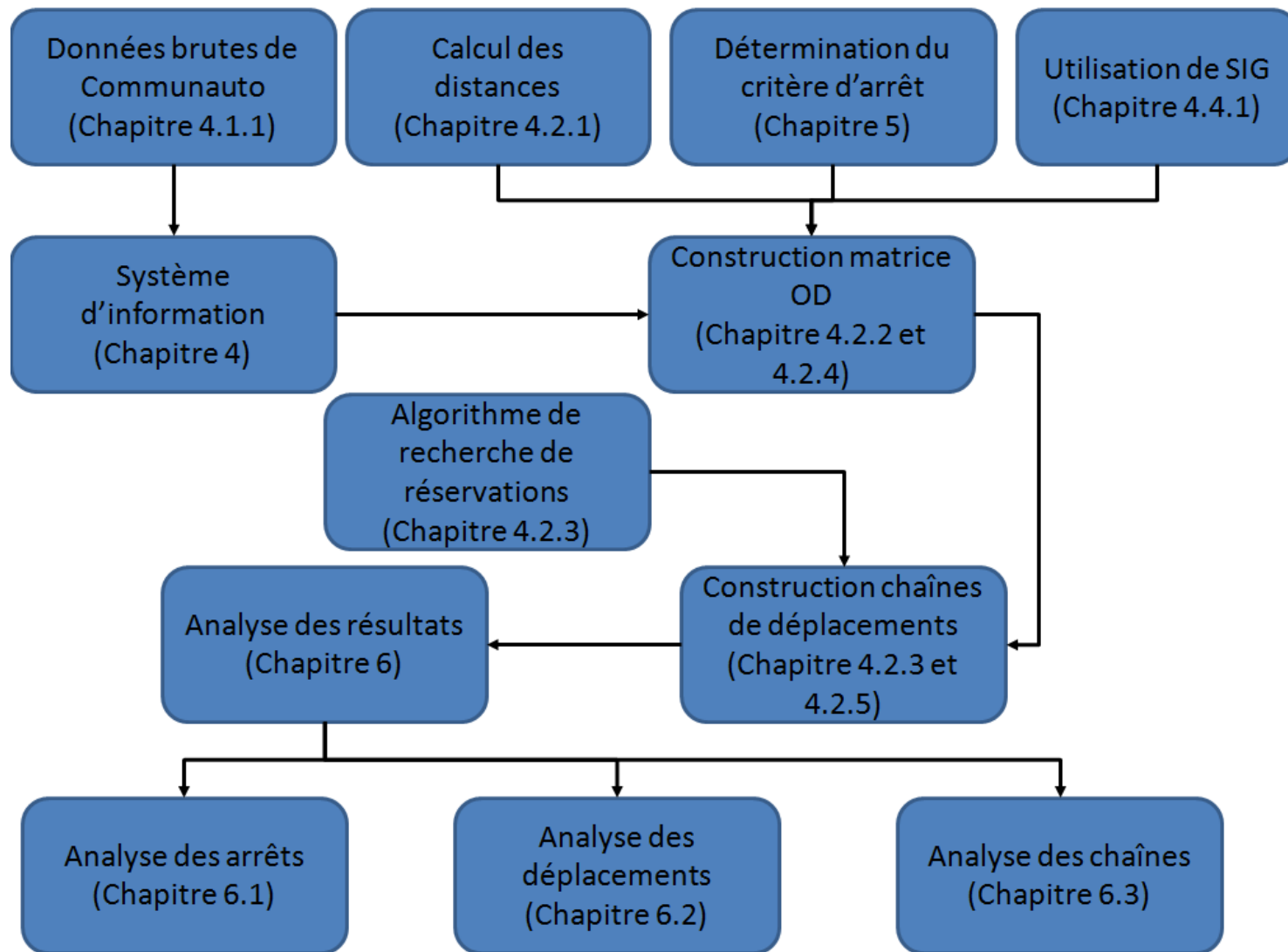


Figure 3.1 - Méthodologie utilisée

CHAPITRE 4 SYSTÈME D'INFORMATION

Puisqu'il fallait faire face à des bases de données de plusieurs millions d'entrées et que ces données brutes nécessitaient plusieurs traitements, un système d'information sur mesure a été développé. Les données disponibles sont sous la forme d'une position GPS à un instant défini. De celles-ci, une matrice de déplacements origine-destination est construite; nécessitant de nombreux traitements.

4.1 Montage des données

Les tables de données sources fournies sont présentées ainsi que les tables de résultats qui ont été construites par la suite. Afin de pouvoir manipuler les données, un échantillon de trois mois a été utilisé; soit les déplacements et transactions ayant eu lieu entre le 1er février 2010 et le 31 avril de la même année. Cet échantillonnage est nécessaire à cause de la taille que représente les données ainsi que les temps de traitement qui y sont associés.

4.1.1 Tables de données sources

Tel que mentionné plus haut, les données de bases avec lesquelles le travail devait débiter sont sous la forme d'une position GPS associée à un temps et un véhicule. L'explication de chacun des champs est présentée au (Tableau 4.6) suite à la présentation des tables de données brutes.

La première table (Tableau 4.1) de données fournies par Communauto est celle des données de positionnement GPS générées automatiquement. Ces données de positionnement seront le cœur de l'analyse. Pour les trois mois échantillonnés, ces enregistrements représentent 3 203 115 points GPS.

Tableau 4.1 - Table de données de positionnement GPS automatiques

	veh_id	dheure	latitude	longitude	angle	vitesse
	3	3/15/2010 2:57:00 PM	46.799603333	-71.23814	172	0
	3	3/15/2010 2:59:00 PM	46.799228333	-71.23800833	142	0
	3	3/15/2010 3:01:00 PM	46.799228333	-71.23800833	142	0
	3	3/15/2010 3:03:00 PM	46.799228333	-71.23800833	142	0
	3	3/15/2010 3:05:00 PM	46.799228333	-71.23800833	142	0
	3	3/15/2010 3:07:00 PM	46.799228333	-71.23800833	142	0
	3	3/15/2010 3:09:00 PM	46.799228333	-71.23800833	142	0
	3	3/15/2010 3:11:00 PM	46.799228333	-71.23800833	142	0

Une deuxième table (Tableau 4.2) de traces GPS est également fournie par Communauto. Elle est pour sa part liée avec des événements et vient donc compléter celle des traces automatiques vue précédemment. Ces données comportent la deuxième source en importance de positionnement des véhicules, les enregistrements représentent 908 950 points GPS pour les trois mois échantillonnés. Il arrive que des données de positionnement pour le même véhicule soient présentes dans les deux tables de points GPS au même moment, il y a donc une certaine redondance des données qui doivent être traitées.

Tableau 4.2 - Table de données de positionnement GPS événementielles

	veh_id	dheure	longitude	latitude
	3	3/15/2010 2:55:00 PM	-71.23814	46.79960333333333
	3	3/15/2010 2:55:00 PM	-73.55168833333333	45.51302
	3	3/15/2010 3:18:00 PM	-71.23800833333333	46.79922833333333
	3	3/16/2010 1:34:00 PM	-71.23800833333333	46.79922833333333
	3	3/16/2010 1:34:00 PM	-71.23800833333333	46.79922833333333
	3	3/16/2010 1:50:00 PM	-71.30083833333333	46.77399666666667
	3	3/16/2010 3:46:00 PM	-71.30083833333333	46.77399666666667
	3	3/16/2010 3:46:00 PM	-71.30099166666667	46.77407833333333
	3	3/16/2010 3:55:00 PM	-71.285955	46.77190833333333

Les deux premières tables de données présentées seraient suffisantes afin de construire une matrice des déplacements avec leur origine, leur destination, la distance parcourue ainsi que le temps de déplacement et le temps à l'arrêt. Cependant, dans le but de pouvoir ajouter des attributs à cette matrice et ensuite être en mesure de créer une table recensant les chaînes de déplacements effectués par les usagers, il est nécessaire d'inclure des données transactionnelles. Ainsi la prochaine table (Tableau 4.3) représente les réservations effectuées par les usagers de manière totalement dépersonnalisée de façon à conserver un niveau de confidentialité. Cette table

est nécessaire afin de pouvoir lier une chaîne de déplacement à une transaction, ces manipulations seront détaillées dans une prochaine section du présent chapitre.

Tableau 4.3 - Table de données des transactions

autNoResen	CustomerID	autNoVehic	intNoVehic	datDateDebutReservation	datDateFinReservation	intDebutKil	intFinKilom	autNoStatio
4222255	4849	742	141	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 1:00:00 PM	123000	123018	131
4222995	25953	959	183	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 1:00:00 PM	118551	118588	132
4224003	32019	533	116	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 1:30:00 PM	0	0	145
4224047	29761	986	1609	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 1:30:00 PM	96662	96705	275
4211257	17482	1015	1621	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 1:30:00 PM	0	0	402
4224147	32019	533	116	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 2:00:00 PM	125617	125649	145
4222214	14155	1191	1752	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 2:00:00 PM	50229	50229	163
4204118	14155	1191	1752	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 2:00:00 PM	0	0	163
4232718	108	682	1373	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 3:00:00 PM	119221	119221	154
4224544	108	682	1373	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 3:00:00 PM	0	0	154
4223132	15481	711	1398	2/1/2010 8:00:00 AM	2/1/2010 3:00:00 PM	0	0	289

Une fois le lien effectué entre les transactions et les traces GPS, il est possible de lier la transaction à un numéro d'utilisateur (Tableau 4.4). Ce lien donne non seulement la possibilité de faire des analyses selon le sexe et l'âge de l'utilisateur, mais également de déterminer si des retours au domicile sont effectués lors de la chaîne de déplacements avec le véhicule d'autopartage. La méthode sera présentée dans la section 4.2. Finalement, c'est également cette table qui nous permet de détecter les déplacements et les transactions effectuées par des non-utilisateurs, soit pour des raisons administratives, de maintenance, ou autres. C'est grâce à la caractérisation du type d'utilisateur « CustomerType » qu'il est possible d'effectuer ce filtre et d'ainsi retirer les données non pertinentes à l'analyse. Cette procédure sera présentée en détail à la section 4.3.

Tableau 4.4 - Table de données des usagers

CustomerID	IngSexe	datDateNais	strCodePost	CustomerTy
1	128	4/16/1940	██████	1
2	128	4/7/1976	██████	1
3	128	7/7/1960	██████	1
4	128	1/17/1962	██████	1
5	128	5/17/1954	██████	1
6	128	4/24/1941	██████	1
7	128	9/5/1966	██████	1
8	128	9/18/1976	██████	1
9	127	4/29/1944	██████	1
10	128	12/17/1975	██████	1
11	127	10/27/1976	██████	2

Il a été mentionné brièvement plus haut qu'il n'existait aucun lien direct entre les tables de transactions et les tables de positionnements GPS. Il faut effectivement faire des analyses de correspondances entre les plages de réservations et les utilisations déterminées par les traces GPS. Pour ce faire, il est nécessaire d'être en mesure d'établir une correspondance entre les numéros de GPS des véhicules et les identifiants des véhicules eux-mêmes. C'est pour cette raison que la table suivante (Tableau 4.5) est nécessaire. La colonne « AstusCarNo » représente le numéro du GPS tel que présenté dans les tables de positionnements sous les colonnes « veh_id » tandis que les deux autres colonnes « autNoVehicule » et « IngNoVehicule » correspondent aux champs du même nom dans la table de transactions.

Tableau 4.5 - Table de données de véhicules

AstusCarNo ▼	autNoVehicule ▼	IngNoVehicule ▼
2	1543	2005
3	1596	2019
4	1917	2159
5	1358	1887
5	1400	1924
6	1126	1702
7	902	1734
7	1355	1880
8	793	1624
8	1361	1885
9	1556	2074

Tableau 4.6 - Description des champs des tables de données brutes

Champs	Description
veh_id	Identifiant du GPS
dheure	Date et heure à laquelle la donnée est enregistrée
latitude	Coordonnée latitudinale en degré
longitude	Coordonnée longitudinale en degré
Angle	Angle en degré de la direction du véhicule
vitesse	Vitesse en km/h du véhicule
autNoReservation	Numéro généré automatiquement pour chaque réservation
CustomerID	Identifiant de l'utilisateur (différent de son numéro d'utilisateur)
autNoVehicule	Identifiant automatique pour chaque véhicule
intNoVehicule	Identifiant numérique pour chaque véhicule
datDateDebutReservation	Date et heure du début de la réservation
datDateFinReservation	Date et heure de la fin de la réservation
intDebutKilometre	Kilométrage au début de l'utilisation (saisie manuelle)
intFinKilometre	Kilométrage à la fin de l'utilisation (saisie manuelle)
autNoStation	Numéro de station Communauto
IngSexe	Identifiant du sexe de l'utilisateur
datDateNaissance	Date de naissance de l'utilisateur
strCodePost	Code postal de résidence de l'utilisateur
CustomerType	Type de forfait auquel appartient l'utilisateur
AstusCarNo	Identifiant GPS, semblable à veh_id

4.1.2 Tables de résultats

Comme les tables précédentes l'on montré, il n'existe aucun lien direct entre les traces GPS et les usagers eux-mêmes, et ce, pour des causes évidentes de confidentialités. Cependant, dans le but d'obtenir des résultats de déplacements pouvant être agrégés en chaînes, de nouvelles tables de résultats ont dû être créées. Tout en étant accompagnés de différents attributs sur les usagers afin de dresser un portrait plus détaillé des différentes caractérisations des déplacements. Ces tables représentent les résultats de manipulations de données des tables précédentes en plus d'un apport de quelques autres sources de données externes. Les détails des manipulations en elles-mêmes seront présentés dans la section 4.2. Le but de la présente section étant de présenter les différentes tables de résultats ainsi que leur utilité.

La première table qu'il a été nécessaire de créer est celle regroupant les données de positionnement GPS des deux tables de données sources : automatiques et événementielles. Elle constitue la table de base à partir de laquelle tous les traitements subséquents sont rendus possibles. Il s'agit d'une simple addition des données des deux tables de positionnements en éliminant les doublons. Dans cette table (Tableau 4.7), l'on trouve également la distance linéaire entre deux points consécutifs dans le temps d'un même GPS, calculée à l'aide du théorème des grands cercles tel qu'expliqué dans la section 4.2 du présent rapport.

Tableau 4.7 - Table de données de positionnement

No_Dep	TriplID	Veh_id	Driv_id	dheure	Longitude	Latitude	Distance
642259	884	5	3122	2/4/2010 5:55:00 PM	-73.566313333333	45.522401666667	0
642260	884	5	3122	2/4/2010 5:57:00 PM	-73.568695	45.519701666	0.300430874008184
642261	884	5	3122	2/4/2010 5:59:00 PM	-73.571695	45.518846666	9.57653730802513E-02
642262	884	5	3122	2/4/2010 6:01:00 PM	-73.57760999	45.522446666	0.400981500633312
642263	884	5	3122	2/4/2010 6:03:00 PM	-73.58191499	45.518058333	0.488350255590112
642264	884	5	3122	2/4/2010 6:05:00 PM	-73.58631333	45.520038333	0.220856282852274
642265	884	5	3122	2/4/2010 6:07:00 PM	-73.59252999	45.522868333	0.315528157428819
642266	884	5	3122	2/4/2010 6:09:00 PM	-73.59797833	45.525343333	0.275843927202515
642267	884	5	3122	2/4/2010 6:11:00 PM	-73.60098999	45.52675	0.156720284410671
642268	884	5	3122	2/4/2010 6:13:00 PM	-73.61164499	45.531685	0.54962291785584
642269	884	5	3122	2/4/2010 6:15:00 PM	-73.61568499	45.536895	0.57954965206273
642270	884	5	3122	2/4/2010 6:17:00 PM	-73.61507333	45.535593333	0.144784190364968

Ces données de positionnement ont alors pu être traitées afin d’obtenir une matrice des déplacements avec un point d’origine et de destination (Tableau 4.8 et Tableau 4.9). Dans cette table de données, la durée des arrêts et la distance parcourue sont également compilées. Les arrêts sont déterminés selon un critère arbitraire dont la détermination fera l’objet d’un chapitre à part entière (Chapitre 5). Tel qu’il sera démontré, la démarche reste la même, peu importe la variation du critère, seuls le nombre de déplacements ainsi que quelques caractéristiques de ces derniers sont affectés. En plus de ces caractéristiques quantitatives, il est possible d’obtenir certaines données qualitatives, à savoir si l’abonné effectue des retours à son domicile lors de son utilisation du véhicule ainsi que d’être en mesure de déterminer si le véhicule quitte le Grand Montréal pour effectuer un déplacement que l’on caractérise « d’interurbain ». Les moyens selon lesquels ces résultats sont obtenus seront traités dans la prochaine section 4.2. Le détail de la description de chacun des champs en plus de la source d’information sur laquelle leur contenu repose sont présentés dans le Tableau 4.10. Cette table représente réellement le cœur du travail à effectuer, les résultats et les analyses qui seront présentés au chapitre 6 en découlent directement.

Tableau 4.8 - Table de la matrice origine-destination (partie 1)

No_OD	DebLongitude	DebLatitude	DebHeure	FinLongitude	FinLatitude	FinHeure	DureeArret
173785	-72.15620166	45.265075	3/27/2010 8:36:00 AM	-71.86657499	45.448893333	3/27/2010 9:08:00 AM	241.999999992549
173786	-71.866575	45.4488933333333	3/27/2010 1:10:00 PM	-72.64877666	45.333173333	3/27/2010 1:57:00 PM	5.99999999860302
173787	-72.6487766666667	45.3331733333333	3/27/2010 2:03:00 PM	-73.566305	45.522521666	3/27/2010 3:04:00 PM	
173788	-73.566305	45.5225216666667	3/27/2010 3:38:00 PM	-73.68260166	45.512666666	3/27/2010 4:14:00 PM	30.0000000034925
173789	-73.68260166	45.512666666	3/27/2010 4:44:00 PM	-73.823265	45.650998333	3/27/2010 5:40:00 PM	384.999999997672
173790	-73.82331833	45.651013333	3/28/2010 12:05:00 AM	-73.5664916666667	45.52253	3/28/2010 12:51:00 AM	
173791	-73.5664916666667	45.52253	3/28/2010 10:52:00 AM	-73.57557833	45.524213333	3/28/2010 10:55:00 AM	8.00000000512227
173792	-73.5755783333333	45.5242133333333	3/28/2010 11:03:00 AM	-73.56776333	45.530769999	3/28/2010 11:06:00 AM	60.9999999997672
173793	-73.5678616666667	45.5307633333333	3/28/2010 12:07:00 PM	-73.31382666	45.474269999	3/28/2010 12:49:00 PM	50.999999998603
173794	-73.31394333	45.474261666	3/28/2010 1:40:00 PM	-73.313895	45.474163333	3/28/2010 2:17:00 PM	15.0000000069849

Tableau 4.9 - Table de la matrice origine-destination (partie 2)

No_OD	CustomerID	Distance	CodePostal	CustomerTy	Residence	Interurbain
173785	21090	21.8255076050179	G4W3A1	1	0	1
173786	21090	36.5841122856039	G4W3A1	1	0	1
173787	21090	33.9738745647588	G4W3A1	1	0	1
173788	9135	9.51224104215327	H2L3R3	1	0	0
173789	9135	15.5154902237028	H2L3R3	1	0	0
173790	9135	18.2774591599096	H2L3R3	1	0	0
173791	18520	0.189622761067425	H2K4G3	1	0	0
173792	18520	0.73059233143916	H2K4G3	1	1	0
173793	18520	11.3757426837953	H2K4G3	1	0	0
173794	18520	11.014875351501	H2K4G3	1	0	0

Tableau 4.10 - Descriptions et sources d'information de la table de déplacements, matrice OD

Champs	Description	Source
No_OD	Clé primaire de la table de déplacements (identifiant unique)	Créé automatiquement lors de la création d'un nouveau déplacement
TripID	Numéro d'identification d'évènement	Données de positionnement GPS événementielles
Veh_id	Numéro d'identification d'un GPS	Données de positionnement
Driv_id	Numéro d'identification générique d'utilisateur	Données de positionnement
DebLongitude	Coordonnée longitudinale de départ du déplacement	Données de positionnement
DebLatitude	Coordonnée latitudinale de départ du déplacement	Données de positionnement
DebHeure	Heure de début du déplacement	Données de positionnement
FinLongitude	Coordonnée longitudinale de fin du déplacement	Données de positionnement
FinLatitude	Coordonnée latitudinale de fin du déplacement	Données de positionnement
FinHeure	Heure de fin du déplacement	Données de positionnement
DureeArret	Temps passé à l'arrêt avant le prochain déplacement s'il appartient à la même chaîne	Dérivé à partir des données de positionnement
SourceGPS	Identifiant permettant de suivre la source des données GPS, événementielles ou automatiques	Dérivé à partir des données de positionnement
NumeroStation	Le numéro de la station Communauto la plus proche de l'arrêt	Dérivé d'un calcul de proximité à partir des points de coordonnées de l'arrêt et des stations
DistanceStation	La distance linéaire entre la station la plus proche et l'arrêt	Calcul de proximité à partir des points de coordonnées de l'arrêt et des stations
ArretStation	Format binaire pour déterminer si l'arrêt s'effectue à une station Communauto	Dérivé à partir de la distance de la station et des changements d'attributs du déplacement suivant
CustomerID	Identifiant transactionnel de l'utilisateur (crypté pour confidentialité)	Données des transactions

Tableau 4.9- Descriptions et sources d'information de la table de déplacements, matrice OD (suite et fin)

Distance	Distance parcourue lors du déplacement	Dérivé des données de positionnement appartenant au même déplacement
Chaine_No	Numéro de la chaîne à laquelle appartient le déplacement	Table des chaînes de déplacements (créée)
CodePostal	Code postal de l'utilisateur effectuant le déplacement	Données des usagers
CustomerType	Le type d'utilisateur effectuant le déplacement	Données des usagers
Residence	Format binaire si l'arrêt s'effectue à la résidence de l'utilisateur	Dérivé à partir des coordonnées de l'arrêt et du code postal du domicile
Interurbain	Format oui/non si l'arrêt est situé à l'extérieur des limites du Grand Montréal	Dérivé à partir des coordonnées de l'arrêt et des limites géographiques du Grand Montréal

La deuxième table de résultats qui sera traitée dans la partie d'analyse est celle des chaînes de déplacements (Tableau 4.11 et Tableau 4.12). Il s'agit d'une construction à partir des déplacements de la table présentée aux figures 8 et 9 qui sont regroupés afin de les associer à une transaction et ainsi pouvoir établir le début et la fin de la chaîne en plus de la lier aux caractéristiques de l'utilisateur. Cette table permet de voir la durée totale de la chaîne de déplacement ainsi que le temps durant lequel la voiture était à l'arrêt. Il est également possible de caractériser les chaînes, tout comme les déplacements précédemment, par une fréquence de retour à la résidence d'un usager ou par une utilisation interurbaine du véhicule. La colonne « Match » permet quant à elle de déterminer si les déplacements de la chaîne ont été effectués à l'intérieur des bornes de la réservation, (perfect), ou si les déplacements ont excédé les bornes des réservations, (partial). Il existe aussi un cas où aucune transaction associée au déplacement n'est trouvée, ce cas ainsi que les moyens utilisés pour obtenir ces résultats seront traités dans la section 4.2. Le détail des champs présents dans cette table ainsi que leurs descriptions est présenté dans le Tableau 4.13.

Tableau 4.11 - Table des chaînes de déplacements (partie 1)

Chaine_no	Veh_id	Driv_id	DebLongitude	DebLatitude	DebDate	FinLongitude	FinLatitude	FinDate
3	5	539	-73.566313333333	45.522401666667	2/4/2010 5:55:00 PM	-73.56628666	45.522416666	2/4/2010 8:51:00 PM
4	5	34517	-73.566283333333	45.52241	2/5/2010 8:33:00 AM	-73.56628833	45.522489999	2/5/2010 5:49:00 PM
5	5	21663	-73.566293333333	45.522495	2/6/2010 10:18:00 AM	-74.065215	46.280886666667	2/6/2010 4:33:00 PM
6	5	21663	-74.065215	46.280886666667	2/7/2010 10:46:00 AM	-73.56634	45.522471666667	2/7/2010 3:54:00 PM
7	5	23394	-73.566341666667	45.522471666667	2/13/2010 8:34:00 AM	-73.566326666667	45.522491666667	2/13/2010 11:35:00 AM
8	5	35804	-73.56632	45.522468333333	2/13/2010 11:46:00 AM	-73.566303333333	45.52241	2/13/2010 4:26:00 PM
9	5	15602	-73.5663	45.522415	2/13/2010 4:31:00 PM	-73.56632833	45.522466666	2/13/2010 6:10:00 PM
10	5	124	-73.566338333333	45.522475	2/14/2010 11:25:00 AM	-73.566275	45.522506666	2/14/2010 4:46:00 PM
11	5	10647	-73.566273333333	45.522491666667	2/20/2010 10:21:00 AM	-73.56634333	45.522456666	2/20/2010 3:14:00 PM
12	5	18473	-73.566343333333	45.522456666667	2/20/2010 7:45:00 PM	-74.10630666	45.759921666	2/20/2010 9:22:00 PM
13	5	18473	-74.106326666667	45.759903333333	2/21/2010 2:29:00 PM	-73.56627	45.522471666	2/21/2010 3:51:00 PM
14	5	29175	-73.566268333333	45.522466666667	2/23/2010 7:11:00 PM	-73.56633999	45.522446666	2/23/2010 9:35:00 PM

Tableau 4.12 - Table des chaînes de déplacements (partie 2)

Chaine_no	DureeTotale	DureeArret	NbDeplacement	Match	Station	CustomerID	DistanceTotale	Reside	Interurb
3	176	117		3 Perfect	156	539	10.6825988069833	0	
4	556	469		4 Perfect	156	34517	62.3528569466617	0	
5	375	229		5 Perfect	156	21663	119.572976141582	1	1
6	308	144		5 Perfect	156	21663	108.623343692581	1	1
7	181	96		2 Partial	156	23394	35.2988260223763	0	
8	280	186		5 Perfect	156	35804	13.920355091937	0	
9	99	23		2 Perfect	156	15602	20.439752356555	0	
10	321	293		5 Partial	156	124	2.99328787128367	1	
11	293	73		4 Perfect	156	10647	19.2666381527653	0	
12	97	28		3 Perfect	156	18473	33.8674510405513	0	
13	82	8		2 Perfect	156	18473	33.0870196930453	0	
14	144	126		2 Partial	156	29175	1.65930182944748	0	

Tableau 4.13 - Descriptions et sources d'information de la table de chaînes de déplacements

Champs	Description	Source
Chaine_no	Clé primaire de la table de chaînes (identifiant unique)	Créé automatiquement lors de la création d'une nouvelle chaîne
Veh_id	Numéro d'identification d'un GPS	Données de positionnement
Driv_id	Numéro d'identification générique d'utilisateur	Données de positionnement
DebLongitude	Coordonnée longitudinale de départ de la chaîne	Données de positionnement
DebLatitude	Coordonnée latitudinale de départ de la chaîne	Données de positionnement
DebDate	Date et heure de début de la chaîne	Données de positionnement
FinLongitude	Coordonnée longitudinale de fin de la chaîne	Données de positionnement
FinLatitude	Coordonnée latitudinale de fin de la chaîne	Données de positionnement

Tableau 4.12 - Descriptions et sources d'information de la table de chaînes de déplacements
(suite et fin)

FinDate	Date et heure de fin de la chaîne	Données de positionnement
DureeTotale	Durée de la chaîne	Dérivé de la date et l'heure du début et de la fin de la chaîne
DureeArret	Temps cumulé des arrêts du véhicule	Dérivé des temps d'arrêt des déplacements appartenant à la chaîne
NbDeplacement	Nombre de déplacements inclus dans la chaîne	Dérivé à partir de la table des déplacements
LieuFin	Station Communauto de fin de la chaîne	Dérivé du champ NumeroStation du dernier déplacement de la chaîne
MatchReservation	Indique si une transaction correspond à la chaîne	Dérivé d'une comparaison entre les véhicules, les usagers et les plages de réservation/utilisation
StationReservation	Le numéro de station Communauto à laquelle la transaction a été effectuée	Données de transactions lors d'une correspondance avec la chaîne
CustomerID	Identifiant transactionnel de l'utilisateur (crypté pour confidentialité)	Données des transactions
DistanceTotale	Distance totale parcourue lors de la chaîne	Dérivé de l'addition des distances calculées lors des déplacements
Residence	Nombre d'arrêts à la résidence lors de la chaîne	Dérivé des arrêts à la résidence de la table de déplacements
Interurbain	Lorsqu'au moins un des déplacements constituant la chaîne est identifié comme interurbain, la chaîne elle-même devient interurbaine	Dérivé de la présence d'un déplacement interurbain dans la chaîne

4.2 Automatisation des traitements

Afin d'obtenir des résultats intéressants, il est nécessaire d'utiliser une période de données assez longue pour effectuer une analyse, ici trois mois. Ce faisant, la taille des bases de données avec lesquels il est nécessaire de travailler demeure considérable. Une automatisation des traitements s'impose donc, d'abord pour faire face à ce problème de taille des bases de données, mais également dans la perspective de répétabilité de l'analyse pour d'autres périodes en ayant un minimum de manipulations manuelles à effectuer.

Le logiciel utilisé afin de procéder à l'automatisation des traitements de données est MS ACCESS, principalement à cause de sa disponibilité et de la simplicité de codage à la fois en SQL et en VBA pour les différentes opérations à effectuer sur les données.

La présentation des traitements au cours des prochaines sections se fera dans l'ordre réel d'utilisation afin de pouvoir répéter l'analyse effectuée.

4.2.1 Calcul de distance des données de positionnement

Tel que mentionné lors de la section 4.1, une union a été effectuée entre les deux tables sources de données de positionnement GPS afin d'obtenir une seule table. Une fois cette fusion effectuée, un calcul de distance entre les deux points consécutifs d'un même GPS est nécessaire. Cette distance calculée est une distance linéaire entre deux points; puisque nous ne disposons pas de plus de données afin de pouvoir déterminer les itinéraires exacts des véhicules. De plus, les données étant généralement générées aux 2 minutes, l'approximation linéaire n'est pas loin de la réalité. Pour effectuer le calcul, la distance du grand cercle, ou distance orthodromique est utilisée, en assimilant la terre à une sphère. Même si l'on sait que la terre est légèrement aplatie aux pôles, cela représente une très bonne approximation avec une simplicité et une rapidité de calcul appréciable dans la situation actuelle. Ce calcul se traduit comme suit.

$$d = r * \Delta\sigma$$

$$\Delta\sigma = \arccos(\sin \varphi_s * \sin \varphi_f + \cos \varphi_s * \cos \varphi_f * \cos \Delta\lambda_{sf})$$

Où

d : distance

r : rayon de la terre $\cong 6372.8km$

$\Delta\sigma$: différence d'angle en radian

φ_s : latitude d'origine

φ_f : latitude de destination

$\Delta\lambda_{sf}$: différence d'angle entre les longitudes d'origine et de destination

Ce type de calcul pour les données à notre disposition doit être fait en VBA, cependant certaines fonctions mathématiques n'existent pas comme tel dans le langage VBA et doivent donc être décomposées. Voici un exemple de comment la formule présentée ci-haut est interprétable et compilable en VBA.

La fonction « arcCos » n'existe pas en VBA, il faut donc la remplacer par son équivalent exprimé en « arcTan », puisque cette fonction existe. Il suffit donc de traiter la formule suivante en substituant le « X » par l'expression que l'on retrouve entre parenthèses, suivant le « arcCos », dans l'équation présentée plus haut.

$$\text{arcCos}(X) = \text{arcTan}\left((-X/\sqrt{-X * X + 1}) + 2 * \text{arcTan}(1)\right)$$

Il est alors possible d'obtenir la distance parcourue entre toutes les traces GPS consécutives pour chacun des véhicules, et ce de manière automatisée.

4.2.2 Construction de la matrice origine-destination (version 1)

En ce qui concerne la matrice des déplacements origine-destination, tout comme la construction de la matrice des chaînes de déplacements, il est important de comprendre que leurs constructions se font par itérations. En effet, étant donné qu'il n'existe pas de liens directs entre les transactions et les traces GPS, des manipulations en alternance pour la construction et l'enrichissement des deux matrices sont nécessaires.

Tout d'abord, afin de pouvoir utiliser les données de positionnement pour obtenir des déplacements, qui eux mèneront à des chaînes, il était impératif d'utiliser un critère d'arrêt. Ce critère d'arrêt permet de déterminer si l'utilisateur est en train de faire une activité ou s'il est toujours en déplacement. Pour ce faire, des limites de tolérances spatiales et temporelles, entre deux points

de données GPS consécutifs, ont dû être fixées afin de considérer à la fois les imprécisions possibles du GPS (tolérances spatiales) et les impondérables de la circulation : feu rouge, embouteillages, etc. (tolérances temporelles). Le chapitre 5 sera consacré en entier au choix de ce critère puisque sa détermination aura des impacts directs sur la quantité et la longueur des déplacements observés.

Une fois le critère d'arrêt déterminé, la programmation pour l'obtention d'une première table de déplacements (matrice OD) est rendue possible. Il y a une compilation des différentes données de positionnement jusqu'à ce que le critère d'arrêt soit satisfait et que l'on considère le véhicule comme arrêté, pour une activité ou en fin de chaîne de déplacement. L'on obtient alors les données de positionnement du point de départ du déplacement ainsi que celles du point d'arrivée jumelés aux identifiants du véhicule et de l'utilisateur (différents de ceux utilisés dans la table de réservation). Les distances, dont le calcul a été expliqué à la section précédente, sont également additionnées afin d'obtenir la distance parcourue lors du déplacement, accompagné de la durée de ce dernier. Ensuite, une nouvelle manipulation des données permet de comparer les positions GPS des arrêts de déplacements aux positions GPS des stations de véhicules Communauto. L'algorithme programmé permet d'identifier la station la plus proche du véhicule effectuant le déplacement. À cette étape, la première version de la matrice origine-destination est complétée. Tel que mentionné précédemment, la construction de la première version de la table des chaînes de déplacements est nécessaire afin de pouvoir ajouter des informations supplémentaires aux déplacements de la table origine-destination.

L'algorithme de construction de la première version de la matrice origine-destination est le suivant :

La table de positionnement est parcourue par véhicule, de la date la plus ancienne à la plus récente. Pour chaque point GPS de la table de positionnement, les vérifications suivantes sont effectuées

- S'agit-il du premier point d'un nouveau déplacement
 - Oui : inscrire le point comme origine et retour au début de l'algorithme avec le point suivant
 - Non : passer à l'étape suivante

- L'identifiant véhicule ou l'identifiant usager est-il différent de celui du point précédent
 - Oui : inscrire le point précédent comme destination et le point actuel comme origine, retour au début de l'algorithme avec le point suivant
 - Non : passer à l'étape suivante
- Est-ce qu'une distance supérieure à la composante spatiale du critère d'arrêt a été franchie depuis le dernier point
 - Oui : Si suite à un arrêt, le point devient l'origine d'un nouveau déplacement. Sinon, additionner la distance depuis le dernier point à la distance totale du déplacement, le point actuel devient le nouveau point de comparaison, retour au début de l'algorithme avec le point suivant
 - Non : passer à l'étape suivante
- Est-ce qu'un temps supérieur à la composante temporelle du critère d'arrêt c'est écoulé depuis le dernier point de comparaison.
 - Oui : un arrêt est détecté, inscrire le point comme destination, retour au début de l'algorithme avec le point suivant
 - Non : retour au début de l'algorithme avec le point suivant

4.2.3 Construction de la table des chaînes de déplacements (version 1)

Une fois la première version de la matrice origine-destination créée, il est possible de construire la table des chaînes de déplacements. Pour ce faire, l'on parcourt les différentes entrées dans la table de la matrice O-D afin de les regrouper en une chaîne. Les déplacements consécutifs ayant le même identifiant de véhicule et d'utilisateur sont compilés au sein d'une même chaîne. À cette règle s'ajoute l'exception des déplacements à proximité d'une station Communauto où le véhicule a passé plus de huit heures à l'arrêt. Cette particularité a été introduite afin de diminuer le risque de regrouper plusieurs chaînes de déplacements dans la même chaîne lorsqu'un utilisateur réutilise le même véhicule dans une nouvelle transaction sans que ce dernier ait été emprunté par un autre utilisateur. Suite à ce regroupement de déplacements, l'on obtient une table avec plusieurs informations : la distance totale parcourue, la durée totale, le nombre de déplacements, le temps cumulé des activités (temps à l'arrêt), la station à proximité de

la fin de chaîne, en plus des informations de positionnement du début du premier déplacement et de la fin du dernier.

L'algorithme de regroupement des déplacements en une chaîne de déplacements est le suivant pour chacun des déplacements de la table :

- Est-ce qu'il s'agit du premier déplacement d'une chaîne
 - Oui : inscrire le point de départ du déplacement comme point d'origine de la chaîne, retour au début de l'algorithme avec le déplacement suivant
 - Non : passer à la prochaine étape
- Est-ce que le déplacement est attribué à un identifiant GPS ou usager différent du déplacement précédent
 - Oui : inscrire le point de destination du déplacement précédent comme fin de la chaîne, inscrire le point de départ du déplacement actuel comme point d'origine d'une nouvelle chaîne, retour au début de l'algorithme avec le déplacement suivant
 - Non : passer à la prochaine étape
- Est-ce que moins de huit heures se sont écoulées depuis la fin du précédent déplacement
 - Oui : ajouter le déplacement à la chaîne de déplacements, retour au début de l'algorithme avec le déplacement suivant
 - Non : passer à la prochaine étape
- Est-ce que le point d'arrêt du précédent déplacement est situé à proximité de la station Communauto
 - Oui : inscrire le point de destination du déplacement précédent comme fin de la chaîne, inscrire le point de départ du déplacement actuel comme point d'origine d'une nouvelle chaîne, retour au début de l'algorithme avec le déplacement suivant
 - Non : ajouter le déplacement à la chaîne de déplacements, retour au début de l'algorithme avec le déplacement suivant

La prochaine étape de manipulation de données représente l'élément permettant de faire le lien entre les données de positionnements des véhicules et les données relatives aux réservations jumelées à l'identification du numéro d'utilisateur. Effectivement, la table de chaînes de déplacements, la table des données véhicules et la table de données de réservations sont utilisées afin de pouvoir faire des liens entre réservations et chaînes. La première étape consiste à vérifier si l'identifiant de véhicule de la table de chaînes correspond à un véhicule réel dans la table de données véhicules (il arrive que ce ne soit pas le cas puisque la table de données véhicules est en temps réel et que le traitement s'effectue sur des données historiques pour les chaînes). Lorsqu'un véhicule est identifié, soit 95% du temps pour la période analysé, une recherche avec le numéro de véhicule réel est alors effectuée dans la table de réservation. L'algorithme de recherche de réservation associée à une chaîne se résume comme suit pour chacune des entrées de la table de chaînes:

- Obtenir toutes les réservations correspondant au véhicule de la chaîne
 - I. Vérifier si la date de début de la chaîne est incluse dans une plage de réservation
 - a. Si oui, vérifier si la date de fin de chaîne est incluse dans la même plage de réservation
 - i. Si oui, identifier le type d'association comme « Parfaite » puis inscrire le numéro d'utilisateur correspondant dans la table de chaîne
 - ii. Si non, identifier le type d'association comme « Partielle » puis inscrire le numéro d'utilisateur correspondant dans la table de chaîne
 - b. Si non, vérifier si la date de fin de chaîne est incluse dans une plage de réservation
 - i. Si oui, identifier le type d'association comme « Partielle » puis inscrire le numéro d'utilisateur correspondant dans la table de chaîne
 - ii. Si non, identifier le type d'association comme « Inexistante » puis n'inscrire aucun numéro d'utilisateur dans la table de chaîne

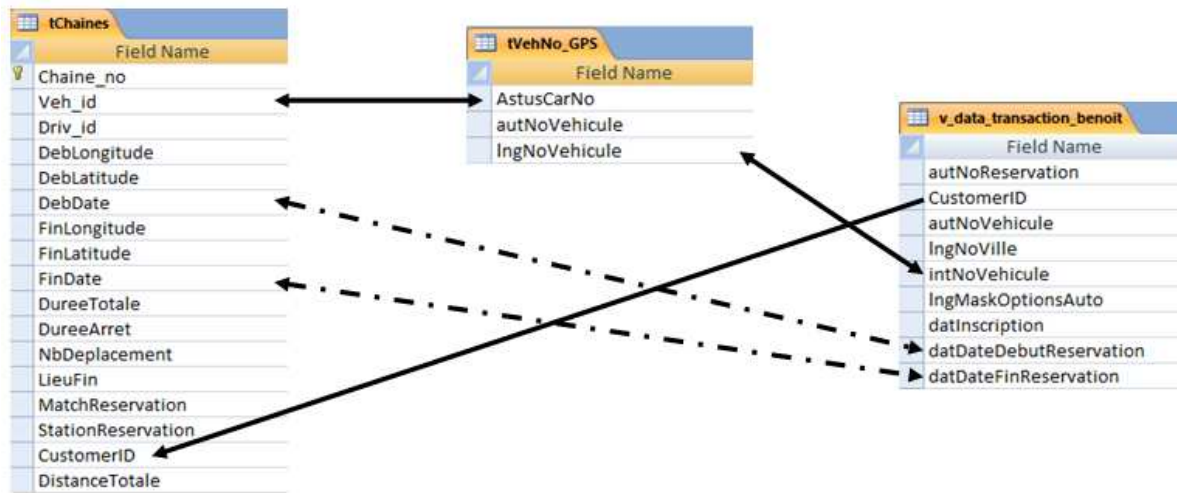


Figure 4.1 - Utilisation des tables de données pour obtenir un lien déplacement-réservation

La Figure 4.1 représente schématiquement les liens qui sont créés entre les différentes tables afin de pouvoir obtenir un numéro d'utilisateur dans la table de chaînes (« CustomerID »). Tel que présenté dans l'algorithme, seules les associations partielles et les associations parfaites sont considérées comme satisfaisantes afin d'inscrire le numéro d'utilisateur et d'ainsi être en mesure d'aller chercher les informations de la table des données des usagers. C'est donc à cette étape que la version 1 de la table de chaînes de déplacements est complétée.

4.2.4 Construction de la matrice origine-destination (version 2)

Après avoir complété la première version de la table des chaînes de déplacements, il est possible d'ajouter à la table de la matrice origine-destination le numéro de la chaîne à laquelle appartient chacun des déplacements ainsi que le numéro d'utilisateur qui lui a été attribué. Ce numéro d'utilisateur permet d'obtenir le code postal de la résidence de l'utilisateur. Cette information est intéressante afin de pouvoir effectuer une analyse consistant à déterminer si l'utilisateur effectue des arrêts à son domicile lors de son utilisation du véhicule d'autopartage. Pour ce faire, la distance entre chacun des arrêts effectués par un usager et son lieu de domicile est calculée. Afin d'obtenir les coordonnées de positionnement des codes postaux, il est nécessaire d'avoir recours à une table de données externes fournies par le gouvernement canadien (Statistique-Canada, 2011). Dans cette table, les codes postaux sont positionnés au milieu des segments des rues qu'ils représentent, ce qui explique pourquoi un arrêt dans un rayon de 100 m

du code postal de l'utilisateur est considéré comme représentant un arrêt au domicile. Cette fois-ci, les distances géographiques entre les coordonnées du lieu d'arrêt et des codes postaux ont été calculées à l'aide du système de positionnement UTM 18. Les points de coordonnées en degrés (x,y) ont donc dû être transférés en coordonnées UTM d'après les formules suivantes:

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cos \varphi$$

$$T = \tan^2 \varphi$$

$$C = \frac{e^2}{1 - e^2} \cos^2 \varphi$$

$$v(\varphi) = 1/\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

$$s(\varphi) = \left(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256}\right) \varphi - \left(\frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024}\right) \sin 2\varphi + \left(\frac{15e^4}{256} + \frac{45e^6}{1024}\right) \sin 4\varphi - \frac{35e^6}{3072} \sin 6\varphi$$

$$E = E_0 + k_0 a v(\varphi) \left(A + (1 - T + C) \frac{A^3}{6} + (5 - 18T + T^2) \frac{A^5}{120} \right)$$

$$N = N_0 + k_0 a \left(s(\varphi) + v(\varphi) \tan \varphi \left(\frac{A^2}{2} + (5 - T + 9C + 4C^2) \frac{A^4}{24} + (61 - 58T + T^2) \frac{A^6}{720} \right) \right)$$

où

φ : latitude en coordonnée (x, y)

λ : longitude en coordonnée (x, y)

E : coordonnée longitudinale UTM

N : coordonnée latitudinale UTM

a : rayon de la terre à l'équateur $\Rightarrow 6378.137\text{km}$

e : excentricité de la terre $\Rightarrow 0.0818192$

λ_0 : méridien de référence $\Rightarrow 285^\circ$

N_0 : convention pour hémisphère nord $\Rightarrow 0\text{km}$

E_0 : convention $\Rightarrow 500\text{km}$

k_0 : convention $\Rightarrow 0.9996$

La Figure A.1 en annexe représente la transposition des formules de transfert de coordonnées d'un système géographique (x,y) longitude-latitude en un système Nord-Est exprimé en kilomètres pour la zone UTM 18 en langage VBA, langage utilisé pour l'automatisation des traitements sur les données.

Une fois les coordonnées transférées dans le système UTM, un simple calcul de la distance euclidienne est nécessaire, puisque le système est directement exprimé en kilomètres dans les axes nord-sud et est-ouest. Il est alors possible de déterminer si le point d'arrêt est à proximité du lieu de domicile de l'utilisateur, tel que mentionné précédemment, la distance de 100 m a été choisie pour limiter la notion de proximité.

C'est également à cette étape qu'il est possible de déterminer si les déplacements ont lieu dans la zone du Grand Montréal, ou s'ils comportent des arrêts extérieurs, qualifiés d'interurbains. Le détail de l'obtention de ces résultats est présenté à la section 4.4 puisque l'on sort de l'automatisation pour passer aux traitements manuels et à l'utilisation des Systèmes d'Information Géographiques (SIG).

4.2.5 Construction de la table des chaînes de déplacements (version 2)

Dans la deuxième version de la table des chaînes de déplacements, les informations accumulées lors de la seconde phase de construction de la table de matrice OD y sont ajoutées. Ces informations sont toutefois intégrées sous une nouvelle forme ; l'identification des déplacements ayant comme arrêt la résidence devient une fréquence d'arrêt au domicile, les informations sur les déplacements interurbains deviennent des chaînes interurbaines si au moins un des déplacements qui la compose est qualifié d'interurbain.

Cette étape est la dernière étape des traitements automatisés effectués sur les données. Les informations présentes dans les tables de déplacements et de chaînes permettront alors d'obtenir des résultats à analyser au chapitre 6.

4.3 Les données rejetées

Suite aux traitements des données, certaines d'entre elles ont dû être rejetées, les causes étant multiples : l'impossibilité de faire un lien entre le déplacement ou la chaîne obtenue à partir des données GPS et les transactions enregistrées par Communauto, l'identification de chaînes n'ayant pas un minimum de caractéristiques clés, le rejet des chaînes de déplacements attribués à des codes d'employés de Communauto pour utilisation non standard.

Ainsi, une fois la table de chaînes de déplacements construite, certaines données doivent être retirées, car elles ne représentent pas ce que l'analyse tente de cibler. Le Tableau 4.14 suivant représente le nombre de chaînes que l'on trouve à chacune des étapes d'invalidation de données. Ces étapes seront ensuite détaillées.

Tableau 4.14 - Chaînes de déplacements invalides

Étapes d'invalidation	Nombre de chaînes touchées	Nombre de chaînes restantes
1-Résultats bruts de la table de chaînes de déplacements	0	34 496
2-Véhicules utilisés lors des déplacements introuvables dans la table de véhicules	1 580	32 916
3-Chaînes de déplacements sans association à une transaction possible	2 076	30 840
4-Transactions attribuables à un code d'employé de Communauto	973	29 867
5-Chaînes où un seul déplacement a pu être identifié	2 189	27 678
6-Chaînes ayant une distance totale parcourue de moins de 100 m	63	27 615

La première étape résulte directement des explications de construction des points précédents du courant chapitre. C'est ce qui peut être qualifié de table brute des chaînes de déplacements.

La deuxième étape est le résultat d'une différence entre la table de véhicules comprenant les dispositifs GPS associés et la table de déplacements liée à un GPS particulier. Cette différence peut être attribuable, comme mentionné dans la section précédente, au fait que la table de véhicule est en temps réel et que la table de déplacements GPS est historique, un écart d'environ 2 ans dans les données.

La troisième étape comprend les chaînes pour lesquelles aucune correspondance avec la table de réservation n'a été possible. Ainsi, ces chaînes ne seront pas incluses dans l'analyse puisqu'il n'est pas possible de savoir à qui peuvent être attribué les déplacements.

La quatrième étape consiste à retirer les chaînes effectuées par les employés de Communauto puisque celles-ci ne sont pas représentatives de l'utilisation régulière d'un membre.

La cinquième étape est utile afin de retirer les chaînes composées d'un seul déplacement, ces chaînes ne sont pas logiquement possibles puisqu'un usager utilise l'autopartage pour réaliser au moins une activité. Ce phénomène peut être attribuable à une activité de durée trop petite pour être captée par l'algorithme, ou par des pertes de signaux GPS menant à une mauvaise interprétation de l'arrêt par l'algorithme (Lu et al., 2007).

La sixième et dernière étape a pour but d'éliminer les quelques exceptions qui ont réussi à franchir l'algorithme développé, ainsi les chaînes de déplacements pour lesquels la somme des distances parcourues est inférieure à 100 mètres sont retirées.

4.4 Traitements manuels

Une fois la matrice des déplacements origine-destination complétée à l'aide des différentes procédures automatisées, certains traitements manuels sont nécessaires dans le but d'obtenir des informations supplémentaires liées aux déplacements. Ces informations serviront à pousser plus loin l'analyse qui sera présentée au chapitre 6.

4.4.1 Utilisation de SIG

L'un de ces traitements est l'utilisation de SIG (Système d'Information Géographique). Les manipulations à effectuer manuellement permettent d'associer des informations géographiques, ici les Secteurs Municipaux (SM) des différents arrêts, aux déplacements. Cette opération permet d'identifier le secteur de départ et le secteur d'arrivée de chacun des déplacements inclus dans le Grand Montréal, et ainsi sert du même souffle à identifier les déplacements et les chaînes qualifiés d'interurbains (ayant au moins un point d'arrêt du déplacement ou de la chaîne à l'extérieur des secteurs municipaux). La Figure 4.2 montre les SM du Grand Montréal en bleu et les arrêts des déplacements environnants pour la période d'analyse. Il est possible de constater qu'il existe tout de même des concentrations de points à l'extérieur du Grand Montréal. Ces zones constituent des centres d'intérêt qualifiés d'interurbains. Ces regroupements sont également présents dans des secteurs plus éloignés de la région de Montréal et n'apparaissent donc pas sur cet extrait de carte. C'est de cette façon, avec l'utilisation du SIG qu'il est possible de compléter les tables de données avec les attributs spatiaux tels que le secteur municipal.

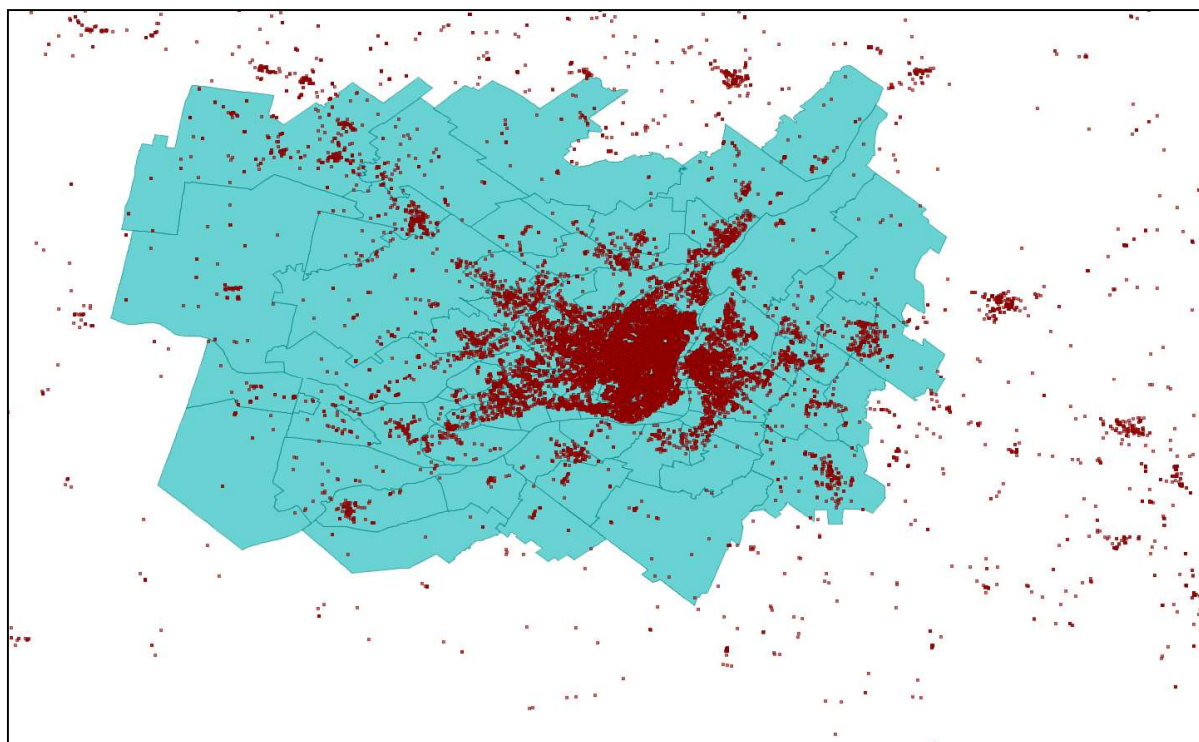


Figure 4.2 - Arrêts et secteurs municipaux du Grand Montréal

4.5 Résumé du système d'information

Les détails du système d'information spécialement développée pour les besoins de ce projet ont été exposés lors des points précédents du présent chapitre. Une représentation graphique des relations entre les différentes sources de données et les constructions des tables de résultats facilitera la compréhension. La Figure 4.3 montre donc la synthèse du système d'information, cette synthèse est subdivisée en trois phases de construction : 1- l'extraction des données brutes, 2- la correspondance entre les chaînes construites et les transactions, 3- l'incorporation d'informations d'analyse additionnelles. Le lien à double flèche entre les tables « Matrice Origine-Destination » et « Chaînes de Déplacements » symbolise leur continuelle interaction.

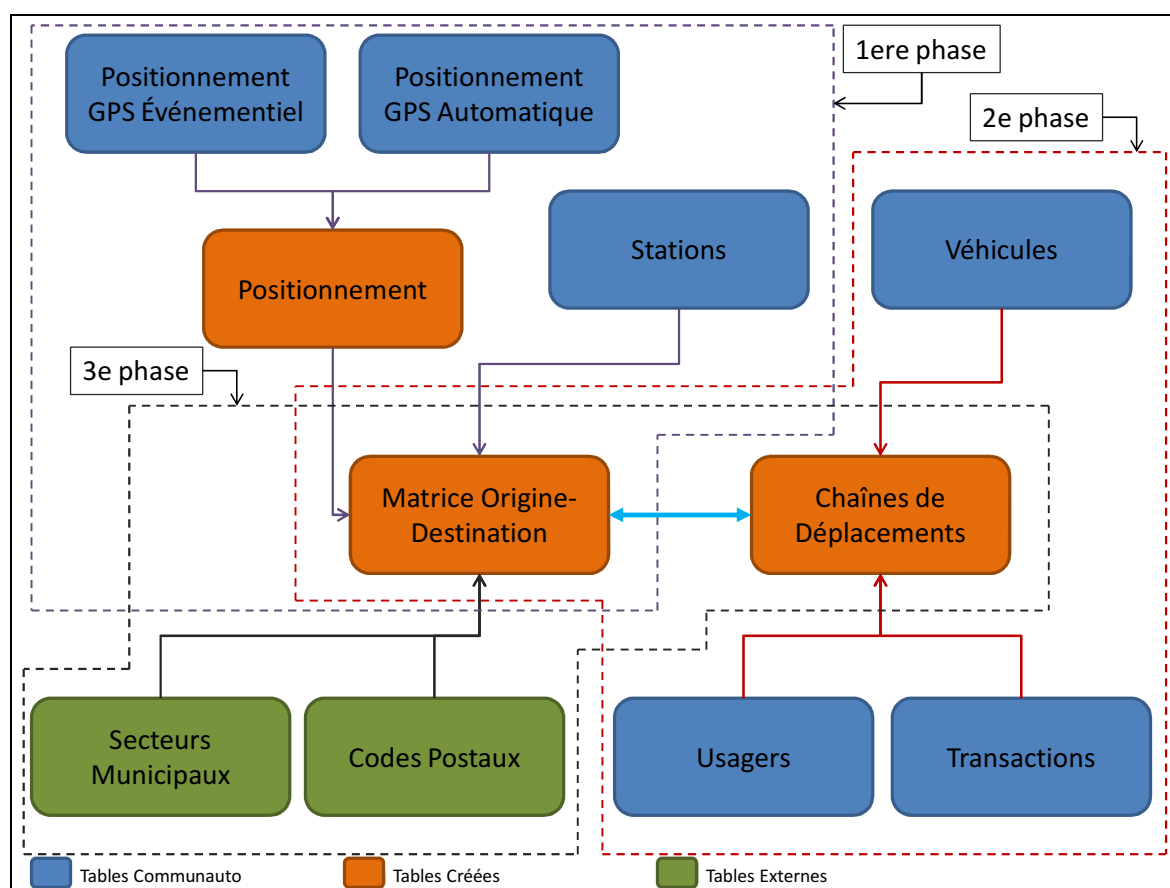


Figure 4.3 - Synthèse du système d'information

La Figure 4.4 représente l'application de l'algorithme développé sur un cas réel. Les points bleus représentent les données GPS enregistrées, les croix rouges les arrêts identifiés et le triangle vert le lieu de domicile de l'utilisateur. Dans le cas présenté, aucun arrêt n'a été effectué à proximité du domicile (dans un rayon de 100 m). Il est cependant possible d'observer que

l'utilisateur a utilisé le véhicule d'une station Communauto située dans le voisinage de sa résidence. Il est également possible de constater des points GPS au sud de l'arrêt 4, il est envisageable de penser que si l'utilisateur s'est déplacé dans cette direction c'est pour y effectuer une activité. Cependant, aucun arrêt n'a pu être identifié à cet endroit, le véhicule n'est pas demeuré assez longtemps immobile pour être retenu comme un lieu d'activité dans l'algorithme.

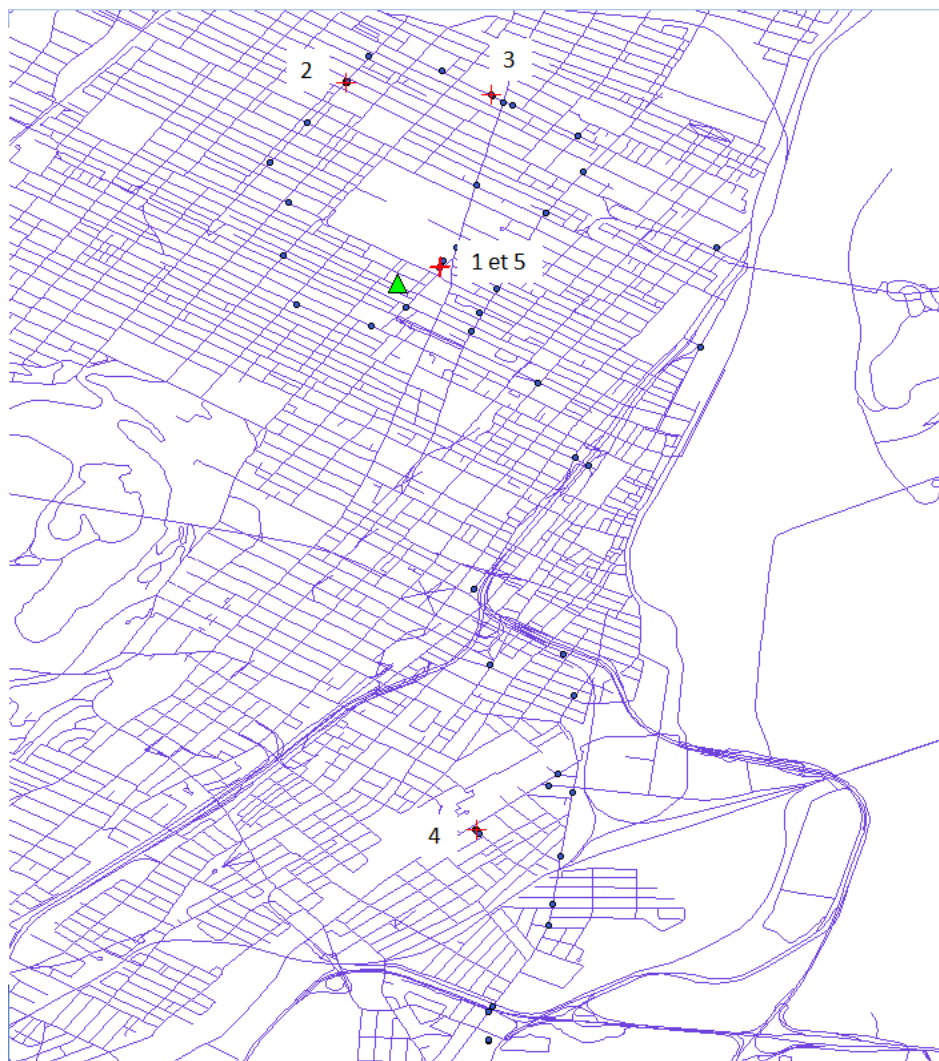


Figure 4.4 - Exemple d'application de l'algorithme sur un cas réel

CHAPITRE 5 CHOIX DU CRITÈRE D'ARRÊT

Comme cela a été mentionné précédemment, le choix du critère d'arrêt constitue le point clé menant à l'analyse des résultats. En effet, le critère d'arrêt a une influence directe sur le nombre de déplacements effectués par chacun des usagers; la modification du critère crée une variation du nombre d'activités recensé et donc implique des données d'analyse différentes.

5.1 Types de variation du critère d'arrêt

Le critère d'arrêt tel qu'il a été développé (voir chapitre 4) comporte deux éléments, soit une distance et un temps. Ces deux seuils peuvent être changés afin de modifier le critère d'arrêt et ainsi obtenir une matrice origine-destination avec plus ou moins de déplacements. Ce que le critère d'arrêt communique à l'algorithme de construction de la matrice origine-destination est la chose suivante : si un véhicule reste immobile (avec une marge de manœuvre exprimée par la composante distance du critère) pour une période de temps (définie par la deuxième composante du critère), le point où se trouve le véhicule est alors considéré comme un arrêt, un lieu d'activité.

5.2 Variations des données en fonction des critères d'arrêts

La variation du critère de distance a peu d'impact sur le nombre de déplacements. Ce qui est important, c'est que cette distance soit suffisamment grande afin de pouvoir inclure les erreurs d'imprécision des données GPS, spécialement en milieu urbain (Lu et al., 2007).

La variation du critère de temps a quant à lui un impact direct sur le nombre de déplacements effectués. Sa variation peut selon le cas faire disparaître des arrêts qui ont eu lieu dans la perceptive d'activités, mais cette variation peut également faire apparaître des arrêts qui en fait n'en sont pas. Les données GPS ayant une précision aux deux minutes, il semble inévitable que pour qu'un point soit considéré comme un arrêt, celui-ci doit minimalement comporter deux points à l'arrêt consécutifs, soit 4 minutes. Dans les prochaines sous-sections, trois différents critères d'arrêt seront utilisés et analysés : 5 minutes, 10 minutes et 15 minutes. Les critères ont été choisis de manière arbitraire, les conséquences du choix de chacun des critères sont présentées dans les prochaines sous-sections.

Critère de temps de 5 minutes

Ce choix de critère représente le plus grand nombre de déplacements retenus, en effet puisque les arrêts d'une durée comprise entre 5 et 10 minutes n'apparaîtront que dans cette section ayant un critère d'arrêt de 5 minutes. En appliquant ce critère, 125 692 déplacements sont obtenus pour la période analysée. De ces déplacements, 4999 sont des déplacements effectués entre les stations Communauto et les lieux de domicile, avec une distance moyenne parcourue de 8,303 km pour tous les autres déplacements, excluant les station-domicile.

Critère de temps de 10 minutes

Lorsqu'il est question du critère de 10 minutes, l'algorithme distingue 105 874 déplacements, dont 3650 entre les stations Communauto et les lieux de domicile, avec une distance moyenne excluant ces déplacements de 9,585 km.

Critère de temps de 15 minutes

Finalement, pour les déplacements obtenus en imposant le critère d'arrêt de 15 minutes, 102 069 sont dénombrés, dont 3093 sont des déplacements entre les stations Communauto et les lieux de domicile. La moyenne des distances des déplacements est de 10,972 km, en excluant les déplacements entre station et domicile.

Résumé des différents critères de temps

Tableau 5.1 - Résumé des données de déplacements par critère d'arrêt

Critère d'arrêt	5 minutes	10 minutes	15 minutes
Nombre de déplacements total	125 692	105 874	102 069
Nombre de déplacement station-résidence	4999	3650	3093
Distance moyenne parcourue (km)	8,303	9,585	10,972

Ce tableau permet de mettre en évidence deux facteurs importants associés à la variation du critère de temps pour déterminer l'arrêt. En premier lieu, une augmentation des distances moyennes parcourues est notable, un écart de 32% entre la moyenne obtenue avec le critère de 5 minutes et celle obtenue en utilisant le 15 minutes. Ce qui est ressort est donc que les

déplacements courts sont aussi des déplacements avec de petits temps d'arrêt pour activités. En deuxième lieu, les données indiquent que le nombre de déplacements recensés entre une station Communauto et la résidence décroît de manière plus importante, en proportion, que les déplacements totaux; 38,1% contre 18,8% si le critère de 5 minutes est comparé à celui de 15 minutes. Ce constat n'est pas surprenant puisqu'il est possible de penser que les arrêts effectués au domicile peuvent souvent être de courte durée ; aller chercher/déposer un passager, vider un chargement du type épicerie ou meuble, etc.

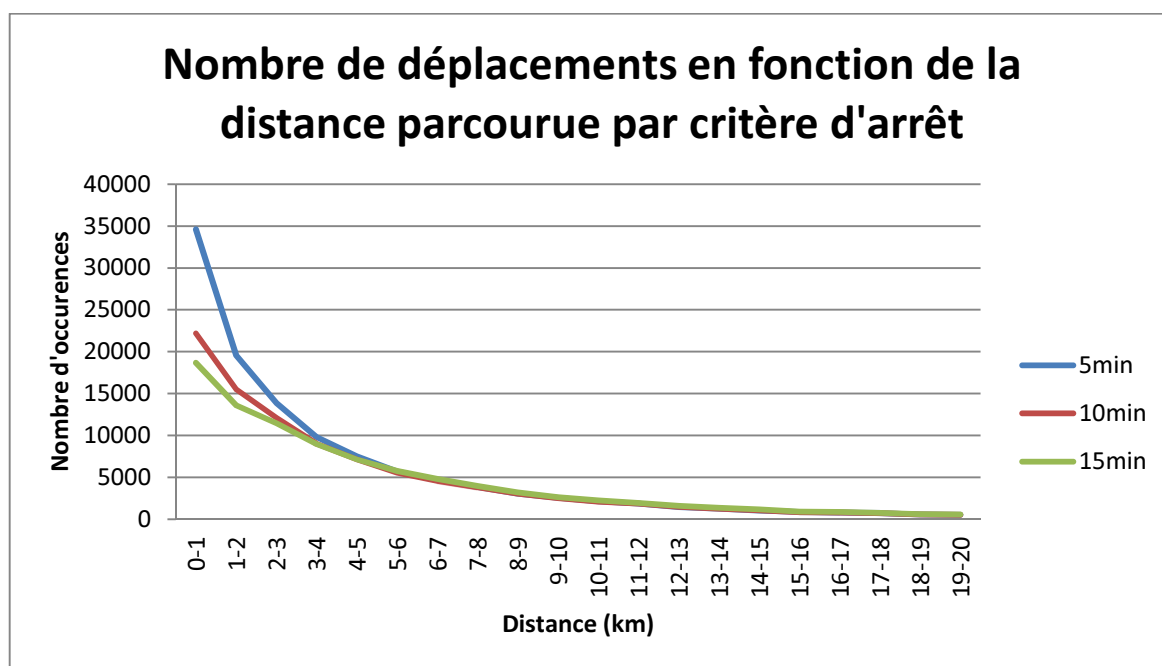


Figure 5.1 - Nombre de déplacements en fonction de la distance parcourue par critère d'arrêt

La Figure 5.1 représente la distribution des distances des déplacements pour une même période en faisant varier le critère d'arrêt de temps. Ce qui en ressort est que les principaux écarts se situent dans les déplacements de moins de 4 km, expliquant ainsi les écarts de moyennes observées au Tableau 5.1.

Suite à l'analyse de ces variations de données dues aux différents critères d'arrêt. Les écarts sont principalement attribués à de petits déplacements, de moins de 4 km, et de courts arrêts, 5 à 15 minutes, qui perdent leur représentation dans l'application de critères d'arrêts supérieurs à 5 minutes. Afin d'être en mesure de compléter l'analyse des impacts des différents critères d'arrêt, une analyse spatiale des points d'arrêt dont la visibilité se perd entre le paramètre de 10 minutes par rapport à celui de 5 minutes est nécessaire.

5.3 Représentation spatiale des différences

Tel que montré dans les sous-sections précédentes, les écarts importants se trouvent entre les déplacements issus du critère d'arrêt de 5 minutes et celui de 10 minutes. Il devient alors intéressant de représenter spatialement où se situent les différents arrêts d'une durée comprise entre 5 et 10 minutes.

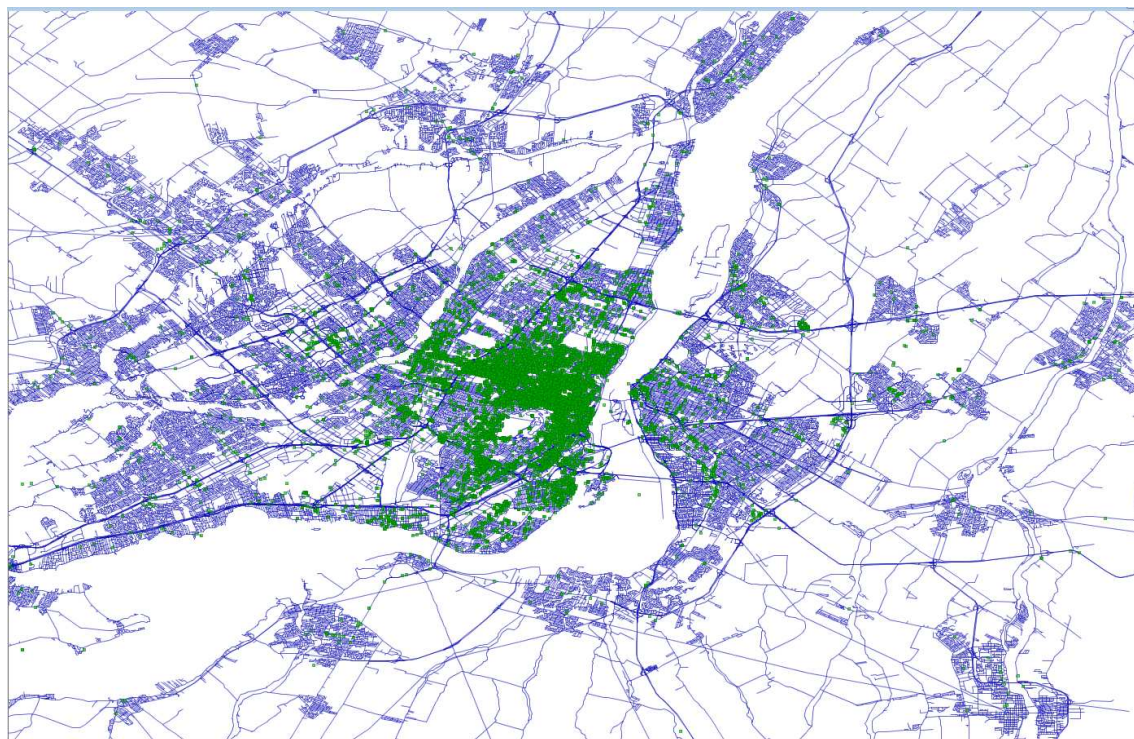


Figure 5.2 - Représentation géographique des arrêts de 5 à 10 minutes

La Figure 5.2 permet de visualiser que la majorité des 18 569 arrêts (en vert) se trouvent au centre de l'île de Montréal, soit au même endroit où l'on trouve une plus grande concentration de stations Communauto. Il devient alors intéressant de vérifier si ces arrêts se trouvent à une faible distance de ces stations, ce qui pourrait être considéré comme des arrêts ne correspondant pas nécessairement à des activités.



Figure 5.3 - Arrêts de 5 à 10 minutes et stations Communauto

La Figure 5.3 représente les mêmes arrêts que la Figure 5.2 en plus de permettre une visualisation des différentes stations Communauto avec un rayon de 150 mètres (représentés par les cercles rouges). Ainsi l'on constate que 7871 des 18569 arrêts, soit 42,39%, se trouvent dans un rayon de 150 mètres des stations. Ce pourcentage peut sembler important, mais il est tout à fait logique qu'une grande part des arrêts soit effectuée dans ces secteurs puisque les stations sont positionnées à des endroits stratégiques, près de lieux d'activité. Il faut également prendre en considération qu'avec le nombre de stations et les rayons de 150 mètres considérés, certaines parties de la ville sont presque entièrement couvertes par ces zones.

Afin de s'assurer que ce pourcentage de points d'arrêts à l'intérieur des zones de station n'est pas une conséquence directe des arrêts de moins de 10 minutes, la même analyse a été effectuée pour les arrêts de plus de 10 minutes (Figure 5.4). Les arrêts de fin de chaîne sont exclus du calcul puisqu'ils sont par défaut situés aux stations et qu'une durée d'arrêt de leur est pas attribuée. Les résultats obtenus montrent que 42,38% des arrêts de plus de 10 minutes sont situés dans les zones constituées des rayons de 150 mètres autour de chacune des stations.

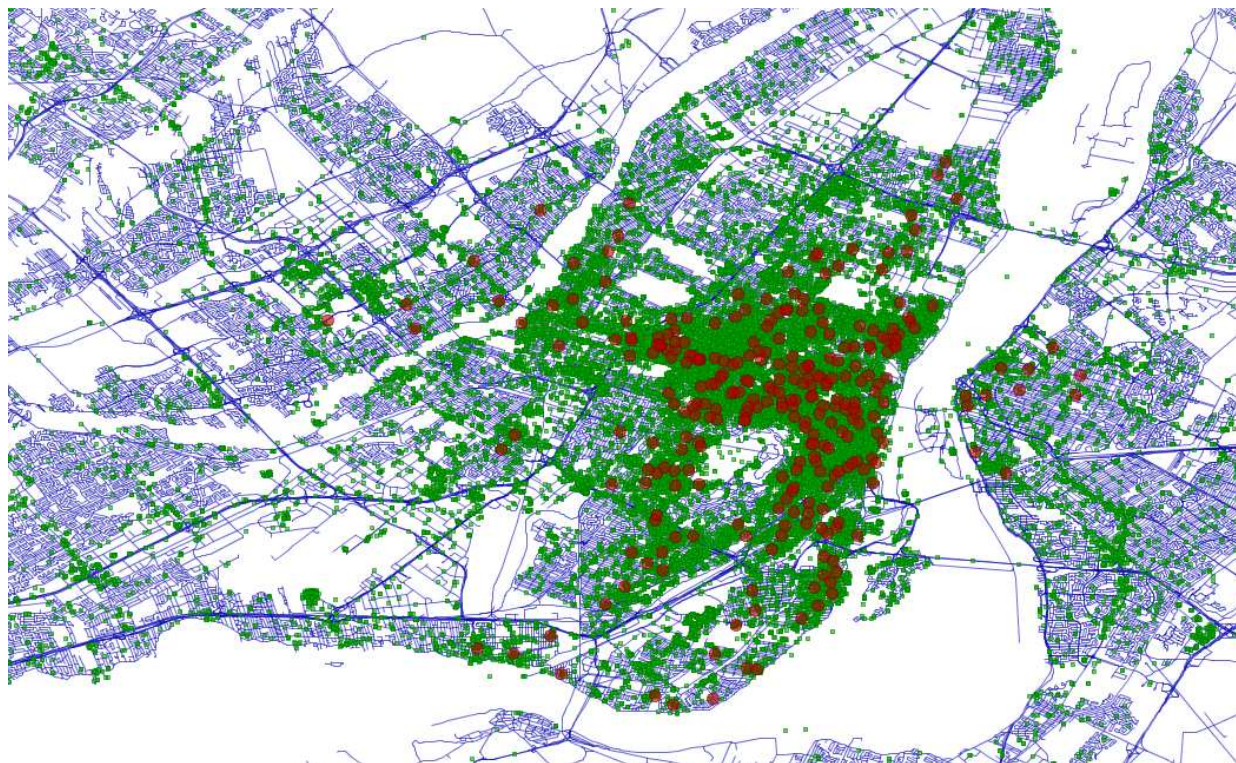


Figure 5.4 - Arrêts de plus de 10 minutes et stations Communauto

5.4 Choix du critère d'arrêt

Suite à l'analyse des différences entre les déplacements recensés selon les critères d'arrêt de 5, 10 ou 15 minutes, il a été montré que les arrêts étant visibles uniquement lors de l'utilisation du critère de 5 minutes comportent des aspects intéressants pour une analyse des données plus profondes. En effet, l'on y trouve 61% plus d'arrêts provenant de déplacements domicile-station ou station-domicile que lorsque l'utilisation du critère de 15 minutes est mise de l'avant. De plus, la majorité des déplacements comportant des durées d'arrêts compris entre 5 et 10 minutes se trouvent dispersés dans le réseau métropolitain et non seulement à proximité des stations. En fait lorsque l'on compare la proportion des arrêts à proximité des stations avec les autres arrêts, ce n'est qu'un écart de 0,01 point de pourcentage pour cet aspect. Ce facteur n'impactera donc pas la décision d'exclure un critère. Le chapitre suivant est consacré à l'analyse en détail des résultats associés aux déplacements, celle-ci sera donc effectuée sur la base du critère d'arrêt de 5 minutes. Cependant, tel qu'expliqué au chapitre 4, tout est automatisé et il serait donc possible de refaire facilement une analyse avec un autre critère d'arrêt.

CHAPITRE 6 ANALYSE DES RÉSULTATS

La méthode de construction des chaînes de déplacements ayant été présentée, une analyse de ces résultats est nécessaire. Ainsi, afin de caractériser les différentes chaînes et les différents déplacements des usagers de l'autopartage, une série de résultats basés sur les données présentées au chapitre 4 suivront. Tous les résultats des analyses qui suivront sont directement impactés par le choix du critère d'arrêt tel qu'expliqué au chapitre 5, une variation de ce dernier aurait comme conséquence de modifier tous les résultats des analyses du présent chapitre. Ces analyses sont subdivisées en catégories afin d'en faciliter la compréhension. Cette subdivision consiste à débiter avec l'élément de base qu'est l'arrêt, le lieu d'activité, puis poursuivre avec les déplacements, puis les chaînes de déplacements, la catégorie précédente étant incluse dans la suivante. Les données qui sont présentes dans les analyses qui vont suivre sont issues, tel que mentionné plus tôt, de la période allant du 1^{er} février 2010 au 31 avril 2010.

6.1 Les arrêts

La première composante à analyser est l'arrêt, qui peut également être qualifié de lieu d'activités. Ces données permettent de comprendre à quels endroits les usagers de l'autopartage vont lors de leur utilisation du véhicule. Ici, les arrêts de la fin de la chaîne de déplacements sont exclus, soit le retour à la station Communauto puisque les données rattachées au lieu et à la durée de cet arrêt sont peu pertinentes.

La première analyse qu'il est possible d'effectuer est une décomposition des arrêts en différents types afin de comprendre leurs distributions. Ainsi, le Tableau 6.1 montre les différents types d'arrêts complémentaires : résidence vs non-résidence, urbain vs interurbain. Un décompte, en plus de la représentation proportionnelle de chacune des catégories est résumé dans le tableau. Les arrêts subdivisés dans ces quatre catégories, en plus des résultats globaux des arrêts sont présentés sous forme graphique à la Figure 6.1 en fonction de la distribution de la durée de ces arrêts.

Tableau 6.1 - Arrêts selon le type

Type d'arrêt		Nombre d'arrêts	Proportion
Résidence	Arrêts à la résidence	8 173	8,3%
	Arrêts excluant résidence	89 896	91,7%
Urbain	Arrêts interurbains	10 814	11%
	Arrêts urbains	87 255	89%
Tous les arrêts		98 069	100%

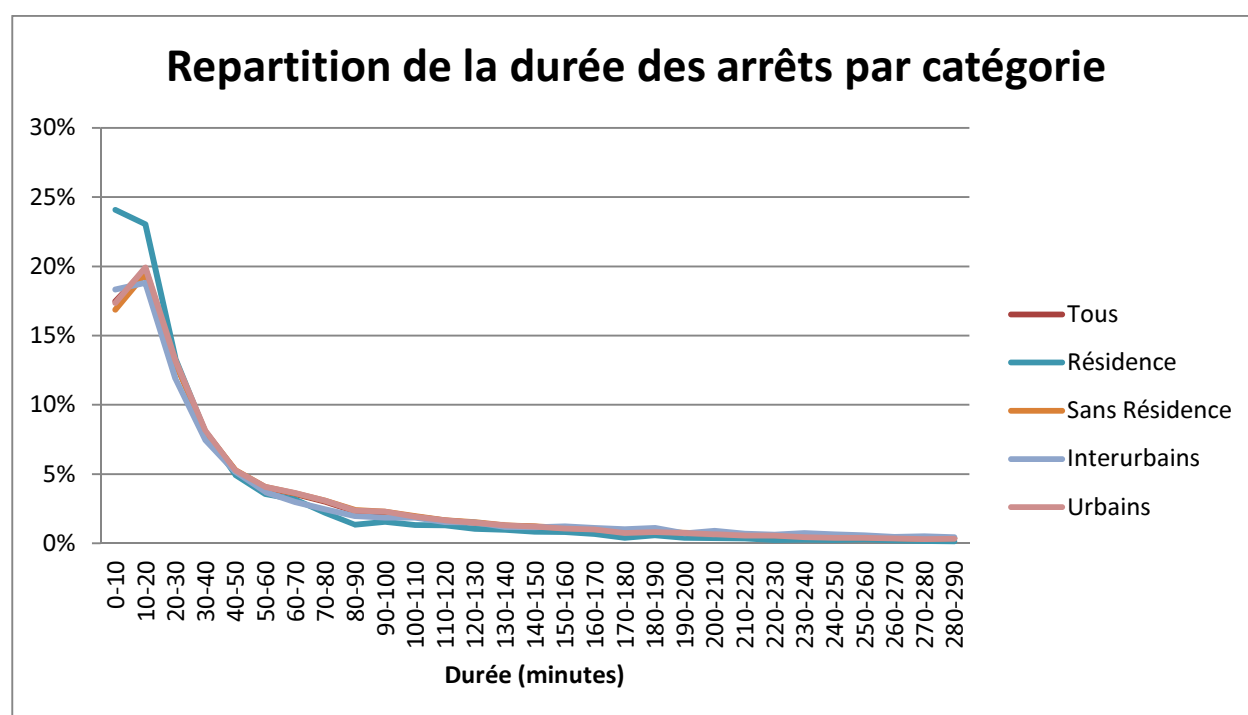


Figure 6.1 - Répartition de la durée des arrêts par catégorie

Ce qu'il est possible de constater avec les données présentées à la Figure 6.1 est que les cas particuliers d'arrêts à la résidence et d'arrêts interurbains qui représente respectivement 8,3% et 11% se comportent différemment de la majorité des arrêts. En effet, les arrêts effectués à la résidence ont tendance à être considérablement plus courts, 35 minutes de moyenne comparativement à 45 minutes pour l'ensemble des arrêts « sans résidence ». Plus de 47% des arrêts ont une durée inférieure à 20 minutes contre 36% pour les autres cas. En ce qui concerne les arrêts interurbains, une tendance différente est remarquable. Ainsi, 22% des arrêts interurbains

ont une durée de plus de deux heures comparativement à 17% des arrêts pour les chaînes urbaines.

Un deuxième aspect à vérifier au niveau des arrêts et de la distribution de leurs durées est la différence entre les arrêts effectués par les hommes et ceux effectués par des femmes. En proportion, les hommes contribuent à 52,1% des arrêts et les femmes occupent le 47,9% restant, pour environ le même pourcentage au niveau des transactions soit 52,2% et 47,8%. La Figure 6.2 représente la répartition de la durée des arrêts selon le sexe.

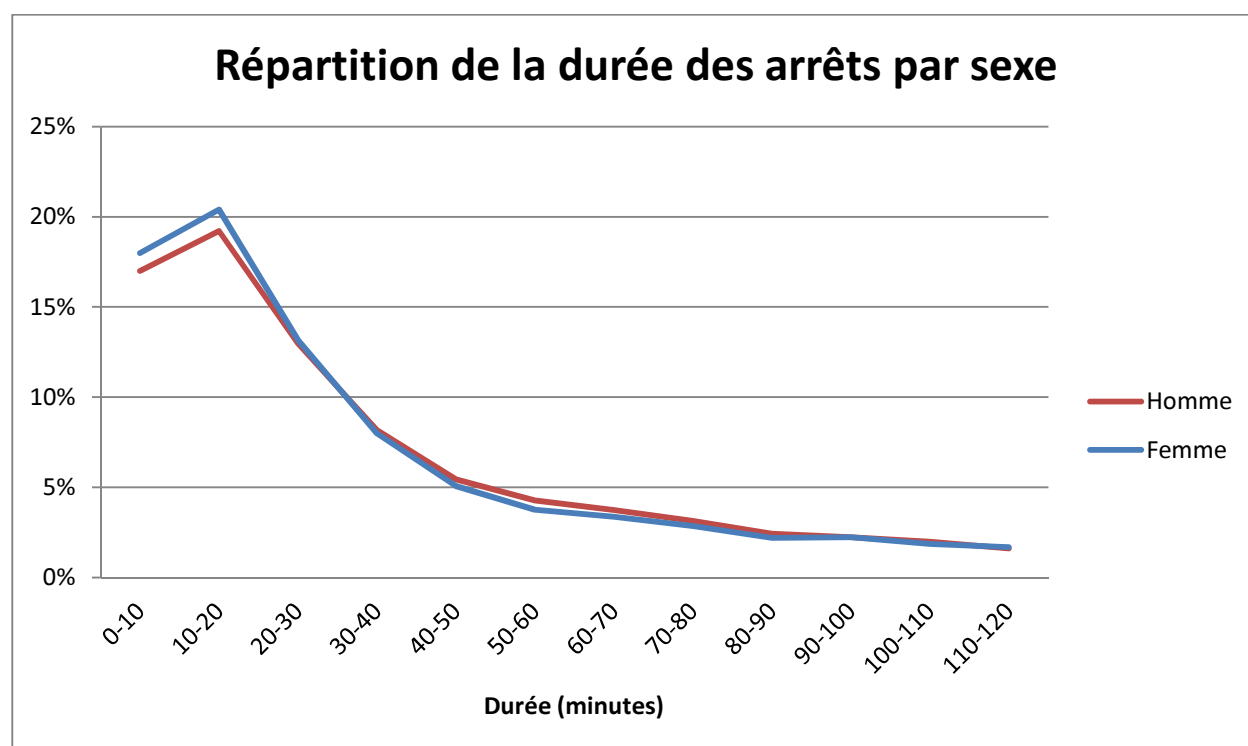


Figure 6.2 - Répartition de la durée des arrêts par sexe

La Figure 6.2 montre que les hommes ont légèrement tendance à effectuer des arrêts de plus longue durée que les femmes, 45 minutes et 15 secondes en moyenne comparativement à 43 minutes et 30 secondes. Il devient donc intéressant de combiner certains critères afin de voir si une tendance s'accroît. Ainsi la Figure 6.3 montre la répartition de la durée des arrêts par sexe combiné aux arrêts de résidence et la Figure 6.4 aux arrêts interurbains/urbains.

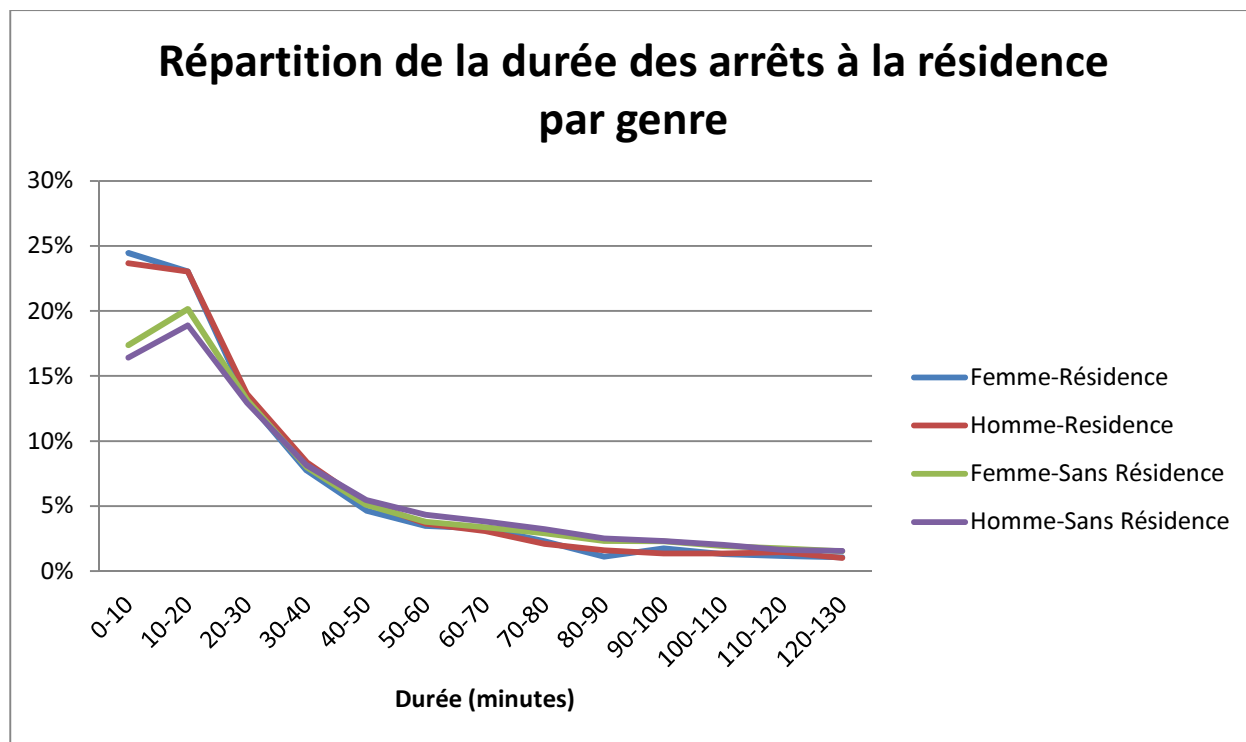


Figure 6.3 - Répartition de la durée des arrêts à la résidence par sexe

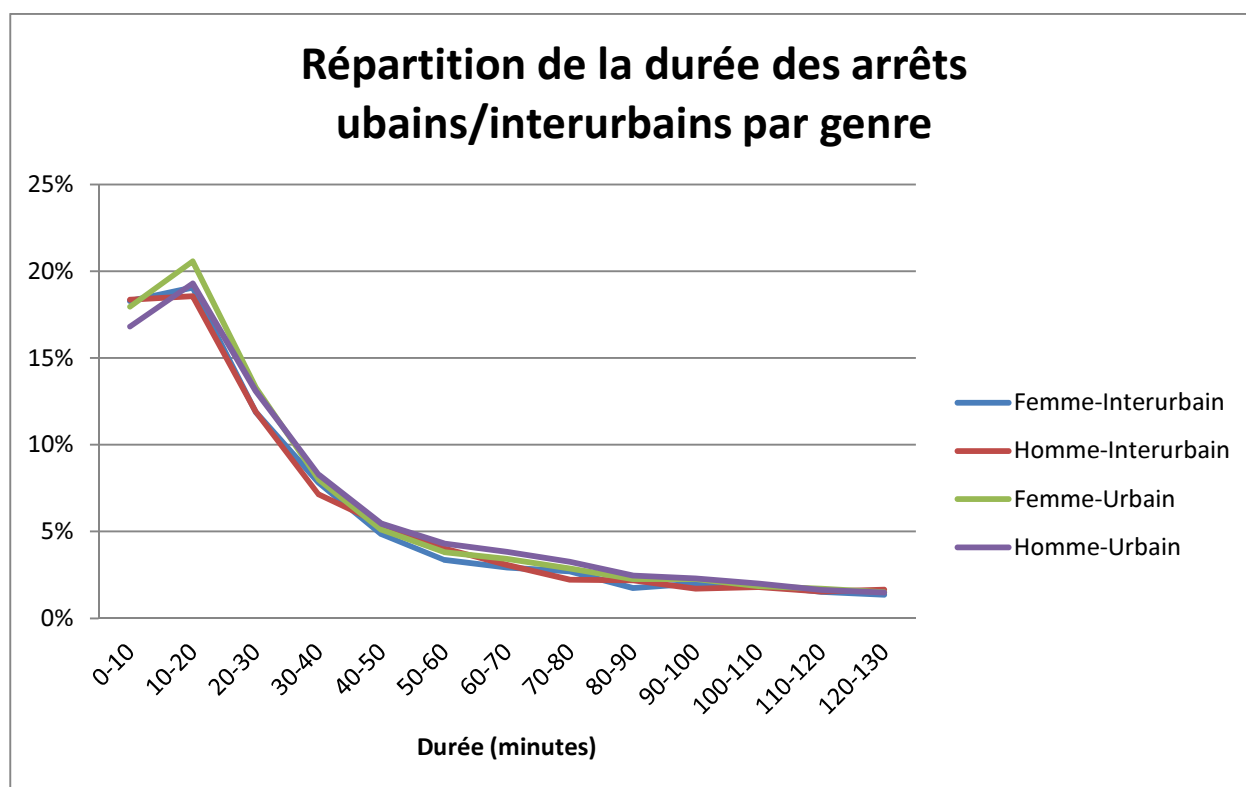


Figure 6.4 - Répartition de la durée des arrêts urbains/interurbains par sexe

Les deux figures précédentes permettent de constater qu'il existe un écart qui s'accroît entre les catégories d'arrêts lorsque le sexe s'ajoute aux autres paramètres. Ainsi, en intégrant les intervalles de durée d'arrêts utilisés précédemment pour chacune des catégories, jumelées à la distinction selon le sexe, le Tableau 6.2 est généré. D'importantes variations sont alors notables entre certaines catégories, par exemple : les hommes avec un arrêt de plus de deux heures à la résidence représentent 11,4% alors que les hommes avec un arrêt interurbain de plus de deux heures représentent 22,1%, soit près du double.

Tableau 6.2 - Répartition de la durée des arrêts par intervalle de temps selon la catégorie et le sexe

Sexe	Catégorie	Moins de 20min	20min à 2hrs	Plus de 2hrs
Femme	Résidence	47,5%	39,9%	12,6%
	Sans Résidence	37,5%	44,6%	17,9%
	Interurbain	37,3%	40,7%	22%
	Urbain	38,5%	44,6%	16,9%
Homme	Résidence	46,7%	41,9%	11,4%
	Sans Résidence	35,3%	46,4%	18,3%
	Interurbain	36,9%	41%	22,1%
	Urbain	36,1%	46,6%	17,3%

Le dernier aspect lié aux arrêts qui est analysé tient compte du travail effectué afin de déterminer le secteur municipal d'un arrêt. Ainsi, les Tableau 6.3 et Tableau 6.4 représentent la distribution des secteurs municipaux à partir d'où les chaînes de déplacements débutent (Tableau 6.3) et la distribution des arrêts effectués avec le véhicule (Tableau 6.4). Les 20 plus importants secteurs, en représentation relative, sont inclus dans les tableaux. Ces pourcentages tiennent compte uniquement des arrêts effectués à l'intérieur des limites des secteurs municipaux du Grand Montréal. Des écarts entre la représentation relative de plusieurs secteurs municipaux sont importants. Le Plateau Mont-Royal qui représente 24,4% des lieux de départ des chaînes de déplacements ne représente que 16,6% de tous les arrêts. Il en va de même avec les arrondissements de Villeray et du centre-ville qui voient leur représentation relative passer respectivement de 15% et 10,8% à 12,9% et 4,7%. Inversement, certains secteurs municipaux

voient leur représentation relative augmenter en ce qui concerne les lieux d'arrêts par rapport aux lieux de départ de chaînes. Ainsi les arrondissements d'Ahuntsic et de Rosemont passent respectivement d'une représentation relative de 5,7% et 5,5% en ce qui concerne les lieux de départ de chaînes à des pourcentages de 7,1% et 7,7% pour les lieux d'arrêts. Une des interprétations qu'il est possible de faire avec ces données est de dire que plus d'utilisateurs de l'autopartage utilisent le service afin de quitter le Plateau Mont-Royal ou le centre-ville que pour y effectuer des activités. Contrairement aux arrondissements d'Ahuntsic et de Rosemont où plus d'utilisateurs se servent du service d'autopartage pour aller effectuer des activités dans ces secteurs que pour en sortir.

Tableau 6.3 - Distribution des lieux de départ de chaînes par secteur municipal

Rang	Secteur Municipal	Pourcentage
1	Montréal: Plateau Mont-Royal	24.4%
2	Montréal: Villeray	15.0%
3	Montréal: Centre-Ville périphérique	10.8%
4	Montréal: Côte-des-Neiges	7.6%
5	Montréal: Centre-Ville	6.9%
6	Montréal: Sud-Ouest	6.4%
7	Montréal: Ahuntsic	5.7%
8	Montréal: Rosemont	5.5%
9	Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	4.3%
10	Montréal: Sud-Est	2.9%
11	Montréal: Verdun	1.7%
12	Montréal: Saint-Michel	1.4%
13	Montréal: Saint-Laurent	1.0%
14	Montréal: Mercier	0.9%
15	Longueuil: Vieux-Longueuil	0.8%
16	Montréal: LaSalle	0.7%
17	Mont-Royal	0.5%
18	Montréal: Lachine	0.5%
19	Montréal: Outremont	0.4%
20	Westmount	0.3%

Tableau 6.4 - Distribution des lieux d'arrêts par secteur municipal

Rang	Secteur Municipal	Pourcentage
1	Montréal: Plateau Mont-Royal	16.6%
2	Montréal: Villeray	12.9%
3	Montréal: Rosemont	7.7%
4	Montréal: Ahuntsic	7.1%
5	Montréal: Sud-Est	5.2%
6	Montréal: Centre-Ville périphérique	4.7%
7	Montréal: Côte-des-Neiges	4.7%
8	Montréal: Sud-Ouest	3.4%
9	Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	3.0%
10	Montréal: Saint-Laurent	2.5%
11	Montréal: Centre-Ville	2.2%
12	Montréal: Verdun	2.2%
13	Montréal: Saint-Michel	2.0%
14	Montréal: LaSalle	2.0%
15	Mont-Royal	1.9%
16	Montréal: Mercier	1.7%
17	Montréal: Saint-Léonard	1.5%
18	Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	1.1%
19	Montréal: Anjou	1.1%
20	Montréal: Lachine	0.9%

6.2 Les déplacements

Le second élément à analyser est le déplacement. Les déplacements au sens de voyageant effectué entre deux arrêts, deux lieux d'activités. De nombreuses analyses sont possibles sur cet aspect du travail. Le développement de ces analyses est d'autant plus intéressant qu'il s'agit de l'élément parmi les trois principaux présentés : arrêts, déplacements et chaînes, à avoir le moins de visibilité due à la complexité de leurs saisies. Quelques caractéristiques des déplacements méritent de s'y attarder, parmi celles-ci, les distances parcourues, les fréquences, les lieux de départ et d'arrivée de ces déplacements en plus de jumeler des aspects descriptifs des usagers tels que l'âge ou le sexe. Une présentation non exhaustive des analyses possiblement réalisable à partir des données disponibles fera l'objet de cette section.

La première analyse présentée consiste en la distribution des distances de tous les déplacements regroupés, Figure 6.5. Ce graphique représente un fait intéressant. Plus de la moitié des déplacements, soit 53%, ont moins de 3 kilomètres. Du même souffle, il est présenté que seulement 17% des déplacements sont effectués sur une distance supérieure à 10 kilomètres. Il devient donc intéressant d'explorer ce graphique en utilisant des sous-groupes de déplacements avec des caractéristiques spécifiques afin d'observer s'ils se comportent différemment de l'ensemble. Les Figure 6.6 à Figure 6.10 représentent les différentes répartitions des déplacements selon ces caractéristiques.

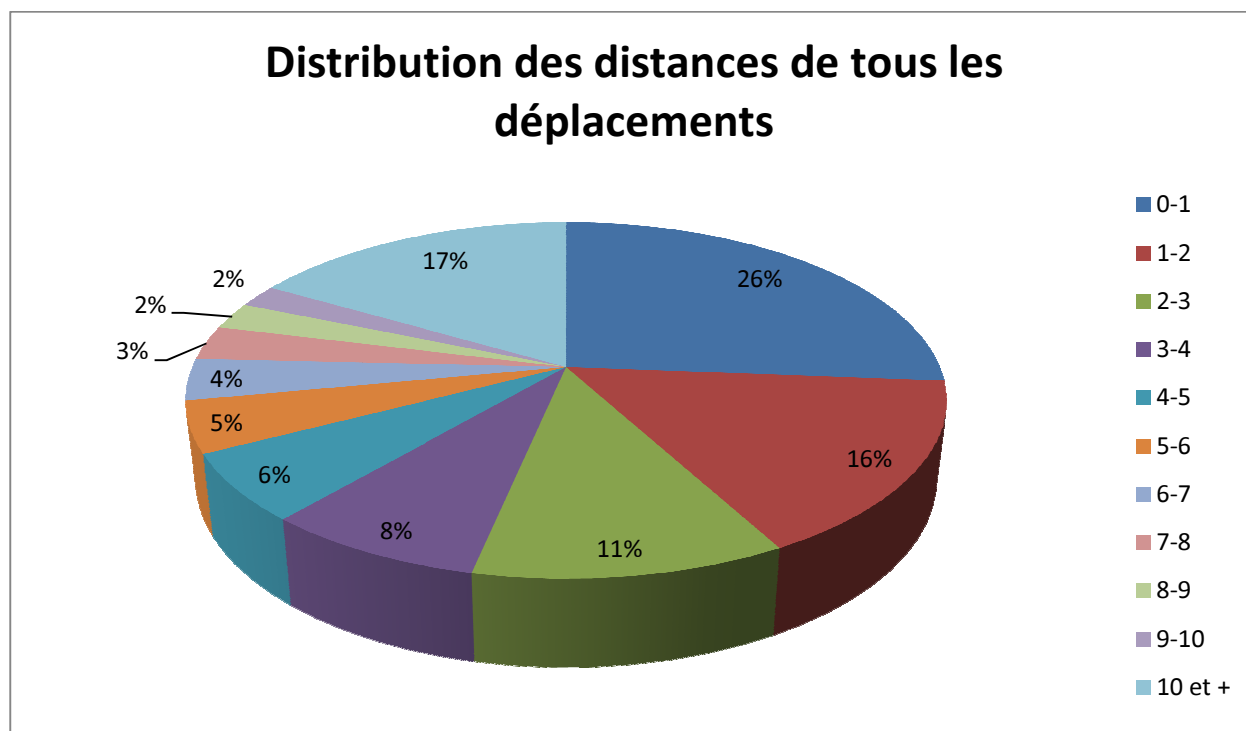


Figure 6.5- Distribution des distances de tous les déplacements

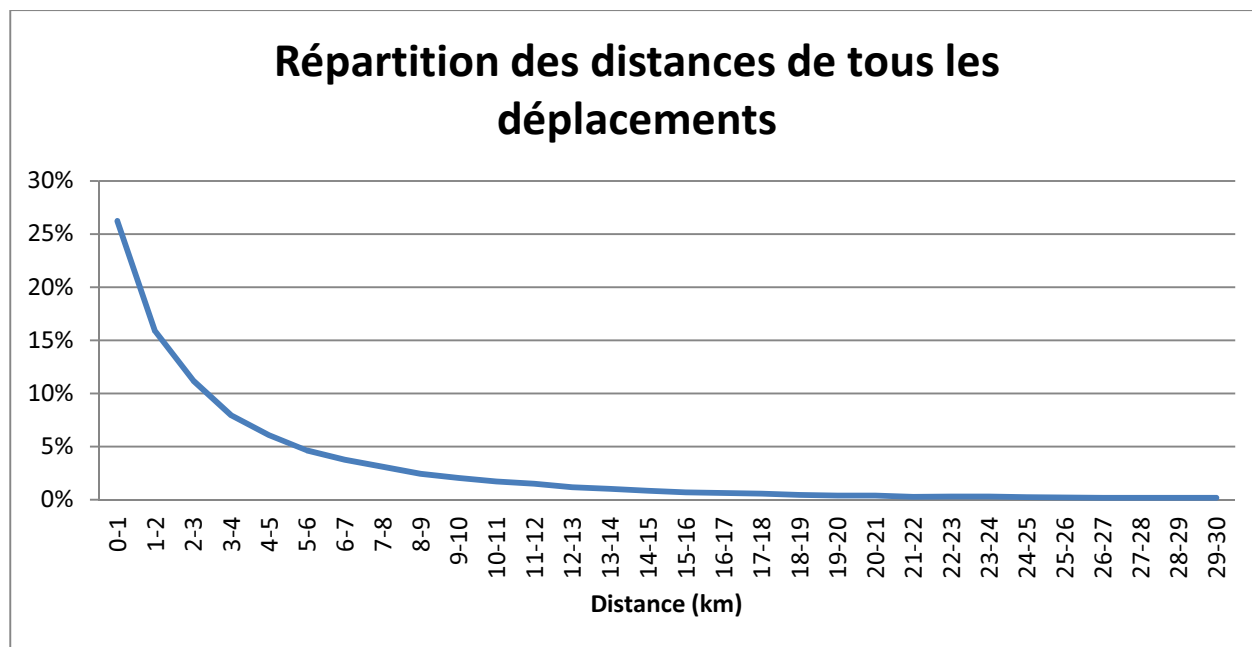


Figure 6.6 - Répartition des distances de tous les déplacements

Le graphique présenté à la Figure 6.6 traite des mêmes données que celui de la Figure 6.5, mais sous un format différent permettant de faire des comparaisons avec les graphiques subséquents.

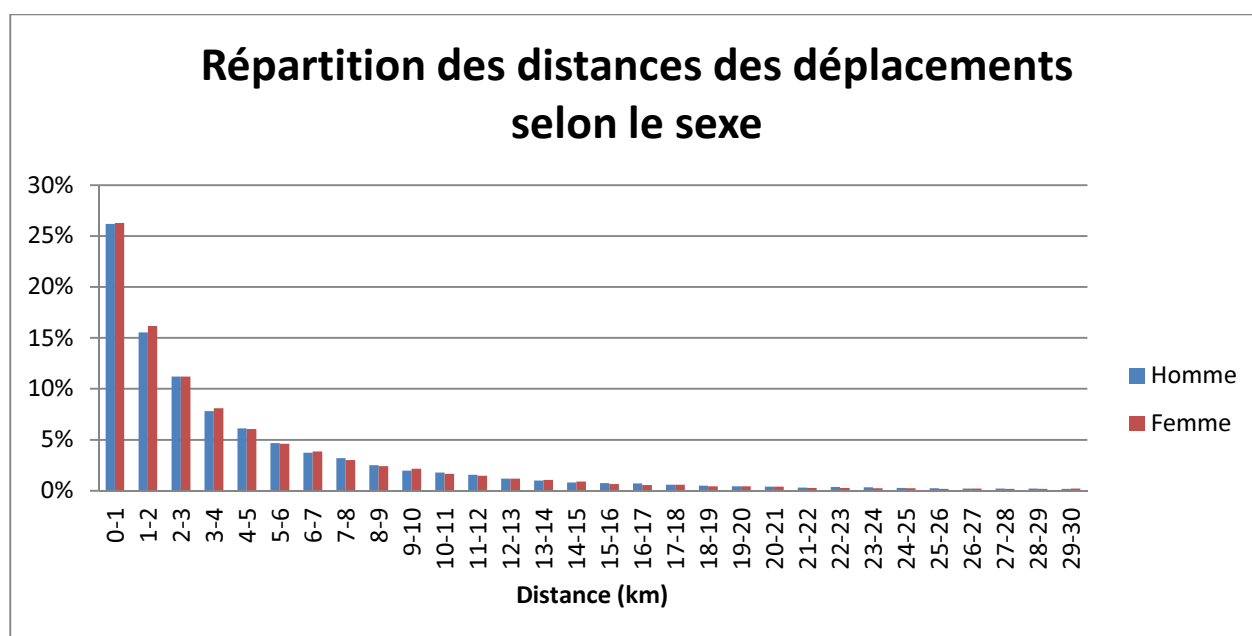


Figure 6.7 - Répartition des distances des déplacements selon le sexe

Le graphique de la Figure 6.7 montre qu'il existe de faibles variations dans la répartition des distances des déplacements lorsque l'on se base sur le sexe de l'utilisateur. La légère tendance qui se dégage de cette situation montre une distinction du côté de l'homme qui effectue des déplacements sur de plus grandes distances.

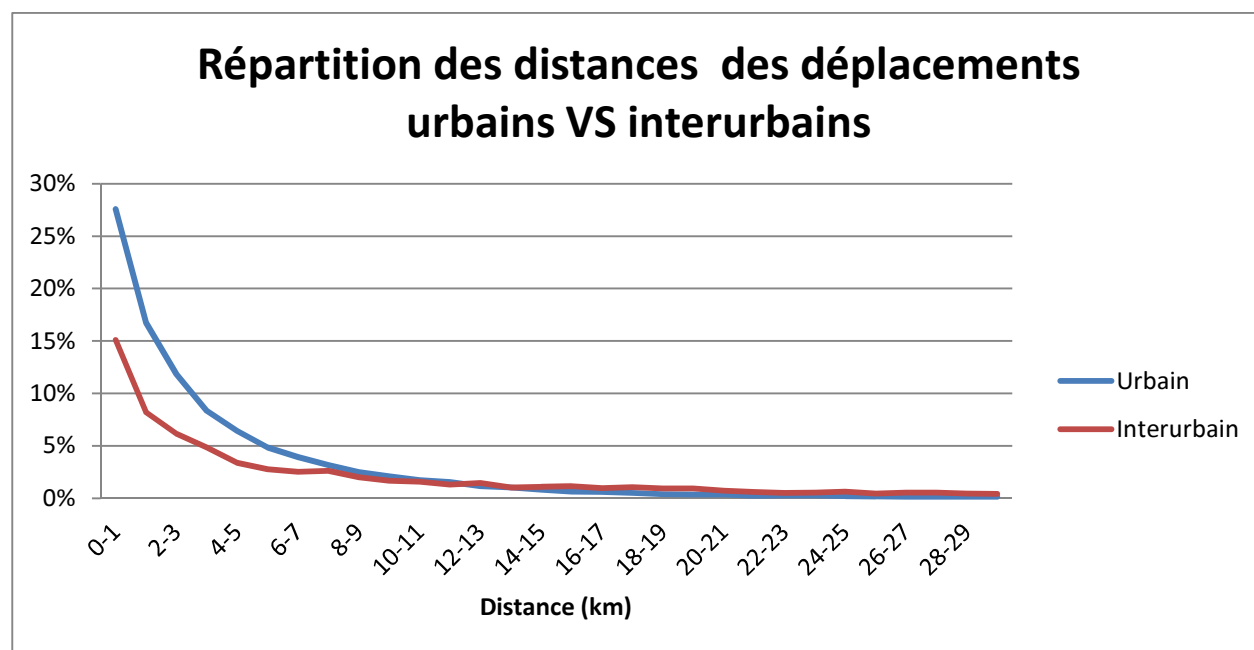


Figure 6.8 - Répartition des distances des déplacements urbains VS interurbains

Le graphique de la Figure 6.8 représente la différence de répartition des distances des déplacements urbains et interurbains. Un déplacement interurbain est composé du départ ou de l'arrivée du déplacement à l'extérieur de la zone géographique du Grand Montréal. Ces déplacements représentent 10,7% des déplacements totaux, mais se comportent de manière distincte. Les déplacements de plus de 10 km représentent 50,6% de la catégorie comparativement à 12,5% pour les déplacements urbains.

Le graphique de la Figure 6.9 ci-dessous distingue les déplacements se terminant avec un arrêt à la résidence de l'utilisateur des autres déplacements effectués. Ces déplacements avec un retour à la résidence représentent 7,9% des déplacements totaux et se comportent d'une manière qui se distingue de la répartition du reste des déplacements. Ainsi, 54,2% des déplacements avec arrêt à la résidence sont de moins de 2 km comparativement à 41% pour les autres.

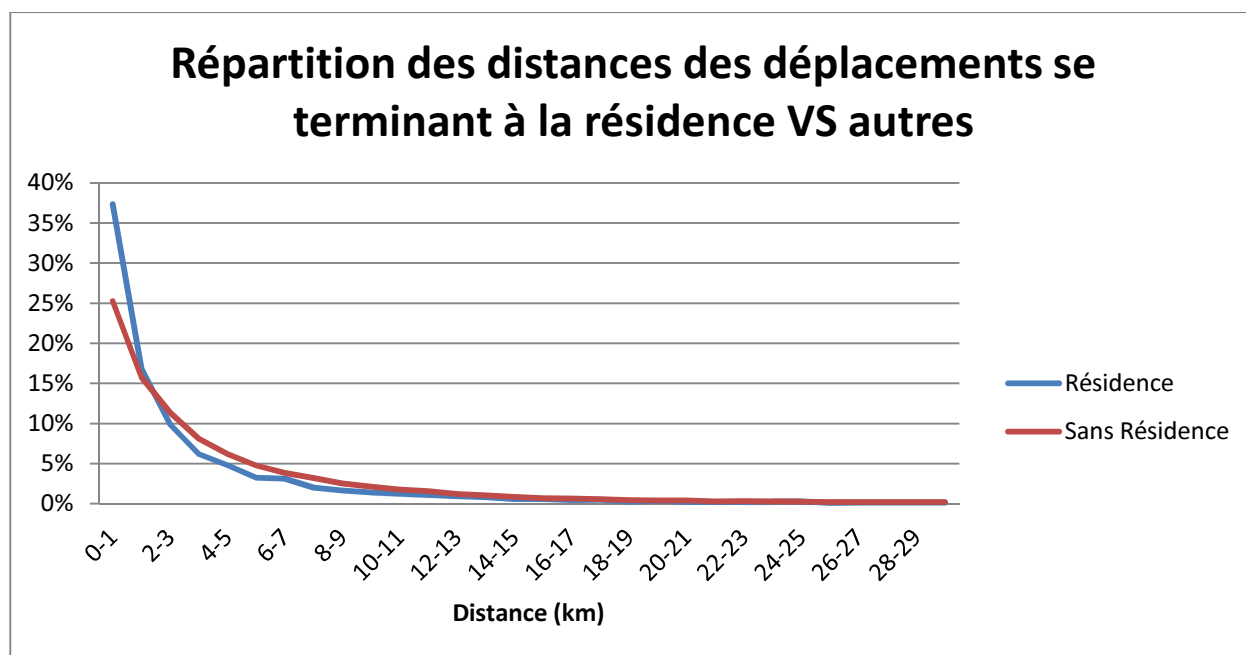


Figure 6.9 - Répartition des distances des déplacements se terminant à la résidence VS autres

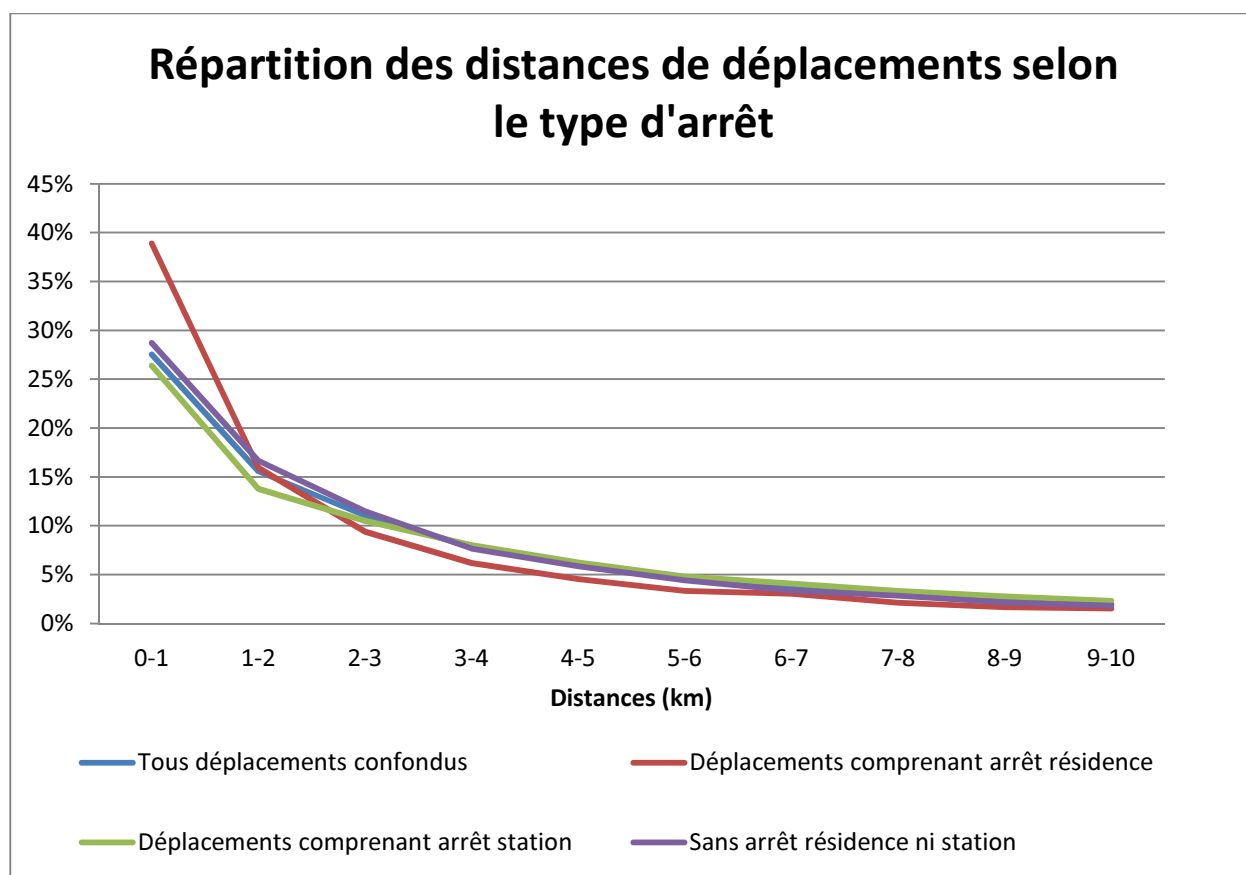


Figure 6.10 - Répartition des distances de déplacements selon le type d'arrêt

Le graphique de la Figure 6.10 est différent des autres graphiques précédemment présenté, en effet il est question de comparer les distances des déplacements de différents sous-groupes en considérant à la fois leur lieu de départ et leur lieu d'arrivée. Ainsi, il est possible de constater que les déplacements ayant comme point de départ ou d'arrivé le domicile se comportent sensiblement de la même façon que les déplacements se terminant au domicile, 54,8% des déplacements de moins de 2 km comparativement aux 54,2%. Les déplacements débutant ou se terminant à une station Communauto montrent eux aussi un comportement distinct, en effet, 50,7% des déplacements liés à une station ont moins de 3 km comparativement à 56,8% des autres cas.

Les précédents graphiques ont montré que la distribution des distances des déplacements n'est pas uniforme lorsqu'elle est considérée selon certaines caractéristiques spécifiques. Afin de synthétiser l'impact de chacun de ces facteurs, le Tableau 6.5 résume les proportions de chacune des catégories par type de caractéristique. Après l'analyse de ce tableau, deux constatations frappantes sont possibles. D'abord, la surreprésentation des déplacements interurbains dans la catégorie des distances de plus de 10 km, en effet dans cette catégorie, ils représentent 32,6% des déplacements alors que leur proportion globale n'est que de 10,7%. Ensuite, il y a une surreprésentation des déplacements de moins de 1 km lors des déplacements comprenant la résidence, 23,8% comparativement aux 16% de leur poids global.

Tableau 6.5 - Proportions des catégories de déplacement selon les distances parcourues

Distance (km)	Tous les déplacements		Déplacements interurbains		Déplacements début ou fin résidence		Proportion de tous les déplacements	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Interurbain	Résidence
0-1	32404	26,2	1994	15,1	7702	38,9	6,1%	23,8%
1-2	19572	15,9	1082	8,2	3157	15,9	5,5%	16,1%
2-3	13853	11,2	812	6,1	1858	9,4	5,9%	14,4%
3-10	37168	30,1	2625	19,9	4438	22,4	7,1%	11,9%
10 et +	20493	16,6	6684	50,7	2641	13,4	32,6%	12,9%
Total	123490	100,0	13197	100,0	19796	100,0	10,7%	16,0%

D'autres types d'analyses sont possibles. En effet, il est intéressant d'utiliser les attributs des usagers qu'il a été possible de récupérer lors de la construction des tables de données. Ainsi les analyses suivantes montrent les distances moyennes des déplacements (Figure 6.11) et les nombres de déplacements effectués (Figure 6.12) par groupe d'âge des usagers de Communauto. Le graphique traitant des distances moyennes permet de montrer que les usagers âgés entre 20 et 29 ans ont tendance à effectuer de plus longs déplacements que les autres groupes d'âge, tandis que la situation inverse s'applique aux usagers de plus de 70 ans. Pour les autres groupes d'âge, de 30 à 69 ans, les distances moyennes des déplacements sont comparables avec de légères variations. En ce qui concerne le nombre moyen de déplacements effectués, une tendance d'augmentation du nombre de déplacements en fonction de l'âge des usagers se dessine. Ainsi, en comparant les deux groupes extrêmes, soit les 20-29 ans et les 70 ans et plus, un écart de 19,7% est présent. Ce qui correspond à des moyennes de 4,3 et 5,2 déplacements moyens par usagers. Le seul groupe d'âge qui déroge légèrement de la tendance est celui des 50-59 ans avec une moyenne de déplacements un peu plus élevée que le groupe suivant des 60-69 ans, 4,87 contre 4,84.

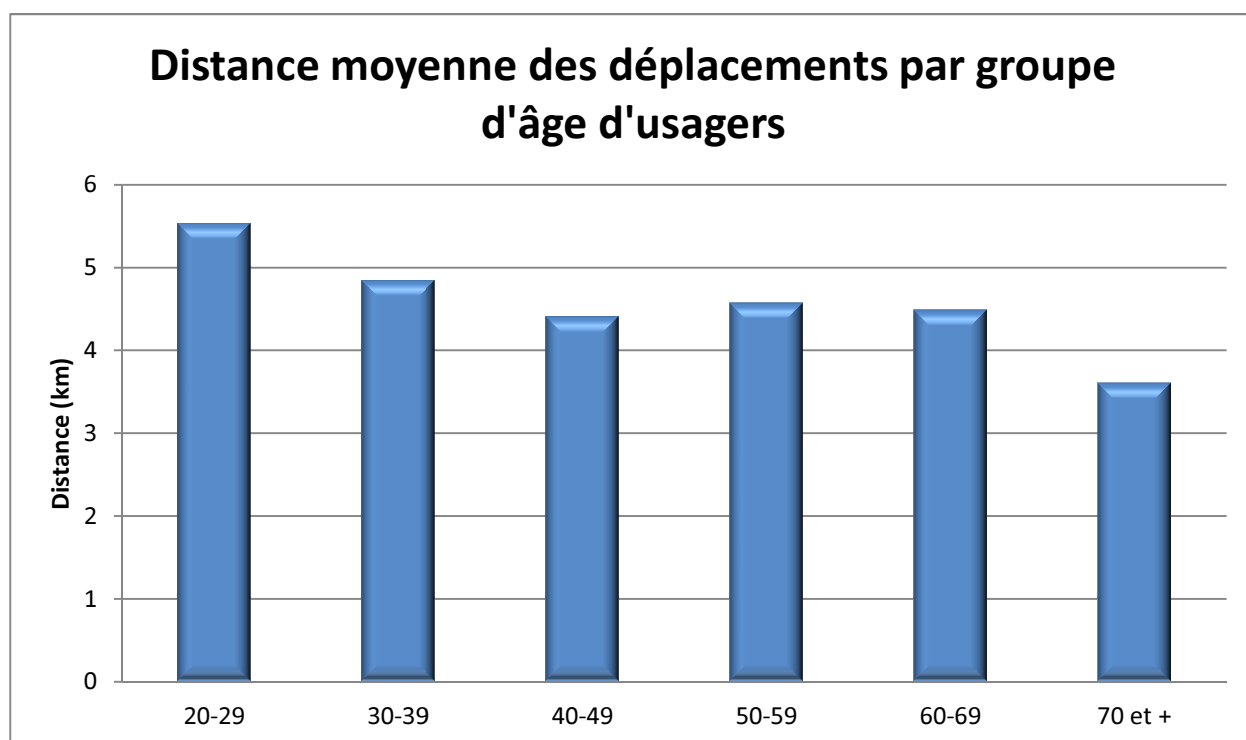


Figure 6.11 - Distance moyenne des déplacements par groupe d'âge d'usagers

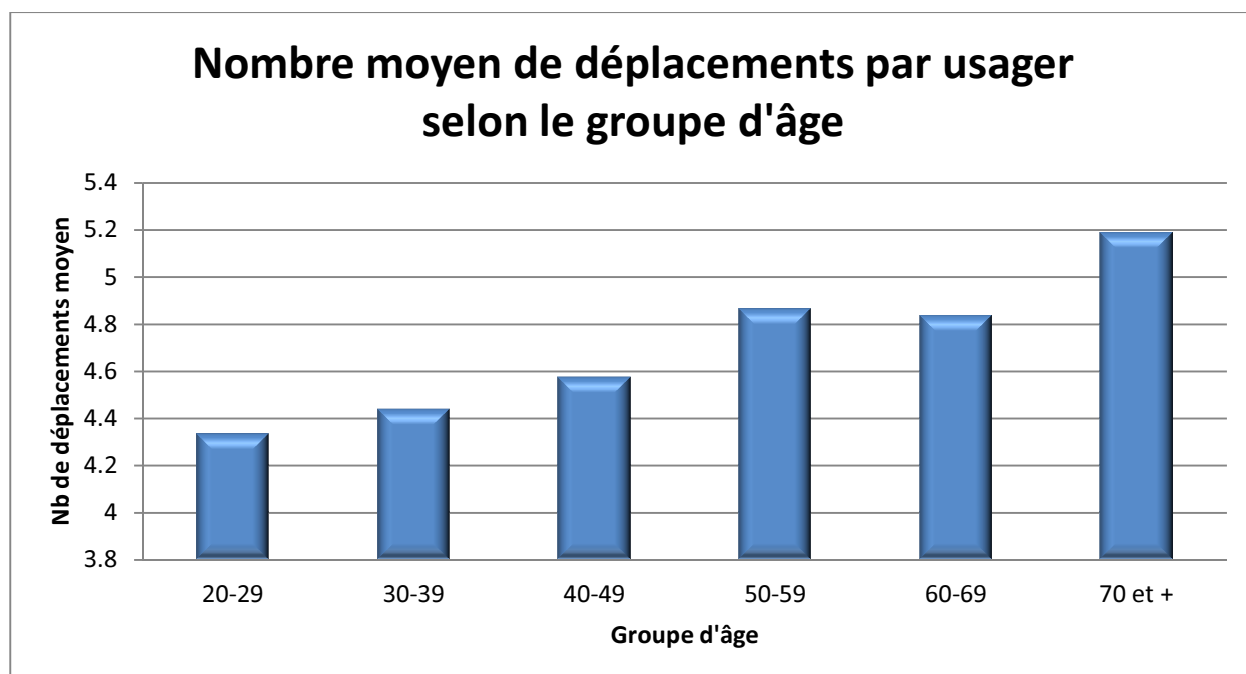


Figure 6.12 - Nombre moyen de déplacements par usager selon le groupe d'âge

Des analyses des déplacements effectués selon le jour de la semaine sont également possibles. La distance moyenne de ces déplacements (Figure 6.13) et leur nombre moyen par usager par jour de la semaine (Figure 6.14) sont présentés ci-après. Le graphique des distances permet d'observer une augmentation significative de la moyenne lors des fins de semaine : samedi et dimanche, avec des moyennes dépassant les 5 km par déplacement. Pour les jours de la semaine (lundi au vendredi), les moyennes sont plutôt constantes à environ 4,5 km. Lorsqu'il est question du nombre moyen de déplacements effectués par les usagers pour chacune des journées, le samedi est en évidence avec une sérieuse avance sur les autres journées, une moyenne de 5,2 déplacements. Ensuite viennent les journées de dimanche et de vendredi qui sont plus achalandées que les autres jours de la semaine, avec respectivement 4,6 et 4,7 déplacements en moyenne. Tout comme expliqué précédemment pour les graphiques selon l'âge des usagers, les jours de la semaine ont un impact sur les distances parcourues et principalement sur le nombre de déplacements effectués par les usagers. Les observations effectuées sur les déplacements sont extrapolables aux chaînes dans une certaine mesure.

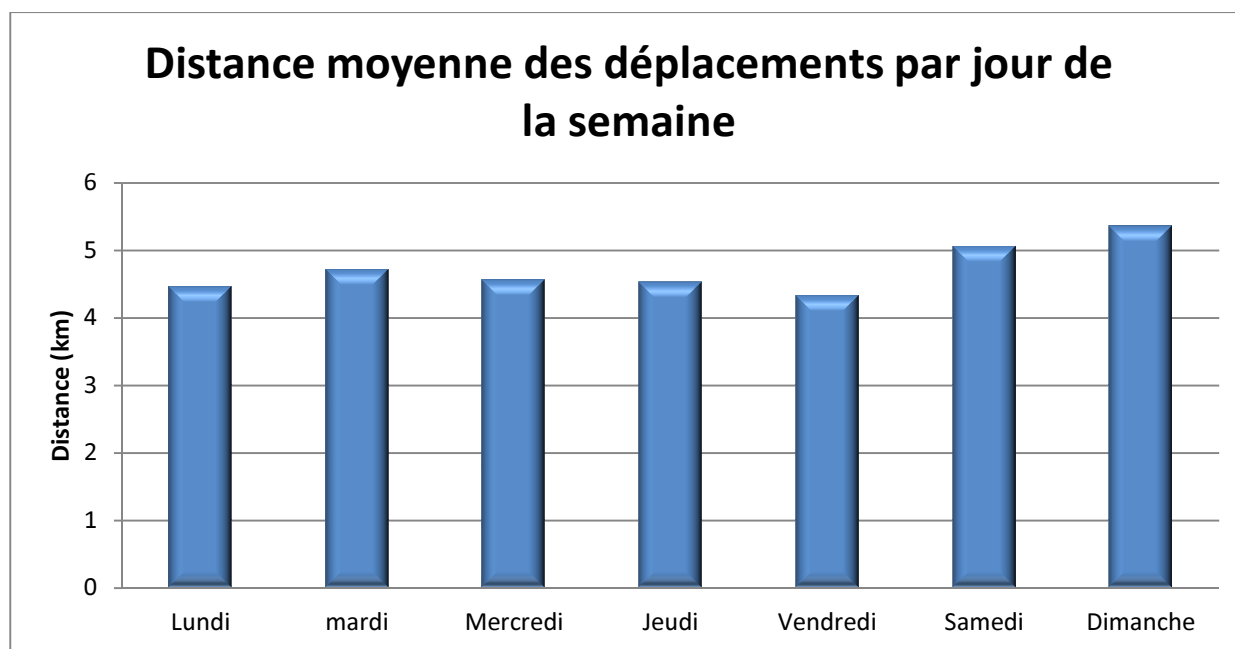


Figure 6.13 - Distance moyenne des déplacements par jour de la semaine

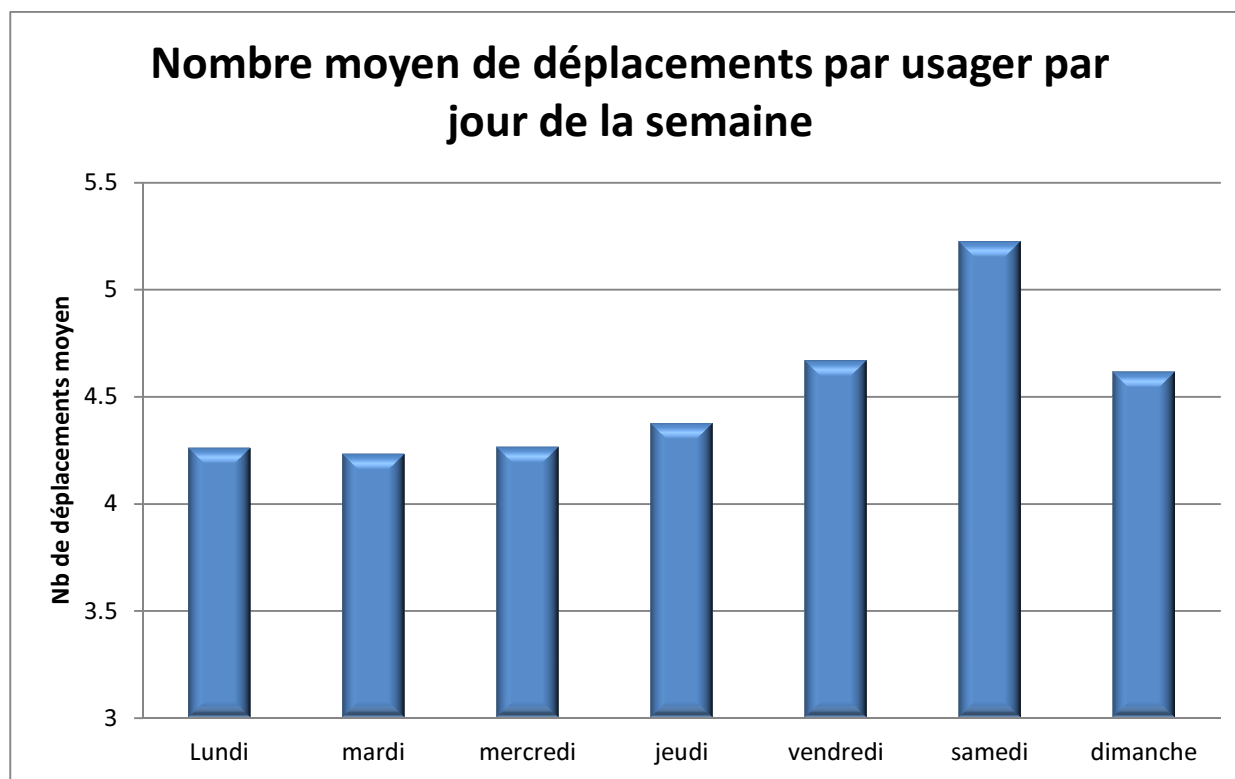


Figure 6.14 - Nombre moyen de déplacements par usager par jour de la semaine

La dernière partie de l'analyse des déplacements porte sur les secteurs municipaux. Le Tableau B.1, en annexe recense tous les secteurs municipaux pour lesquels plus de 100 déplacements y trouvent leur point d'origine avec la distance moyenne des déplacements correspondant au secteur. Les secteurs municipaux sont représentés sur la carte de la Figure 6.15 selon le nombre de points d'origine de. La Figure 6.16 représente la distance moyenne des déplacements effectués depuis chacun des secteurs municipaux comportant plus de 100 points d'origine. Ainsi, le constat qu'il existe de grandes variations sur la distance parcourue selon le secteur municipal de départ d'un déplacement est possible à réaliser. Le contraste est en effet important entre le secteur municipal de St-Sauveur ayant une distance moyenne parcourue de 23,11 km et le secteur de Ville Mont-Royal avec une distance moyenne de 3,17 km. La moyenne de distance globale par déplacement urbain étant de 4,75 km.

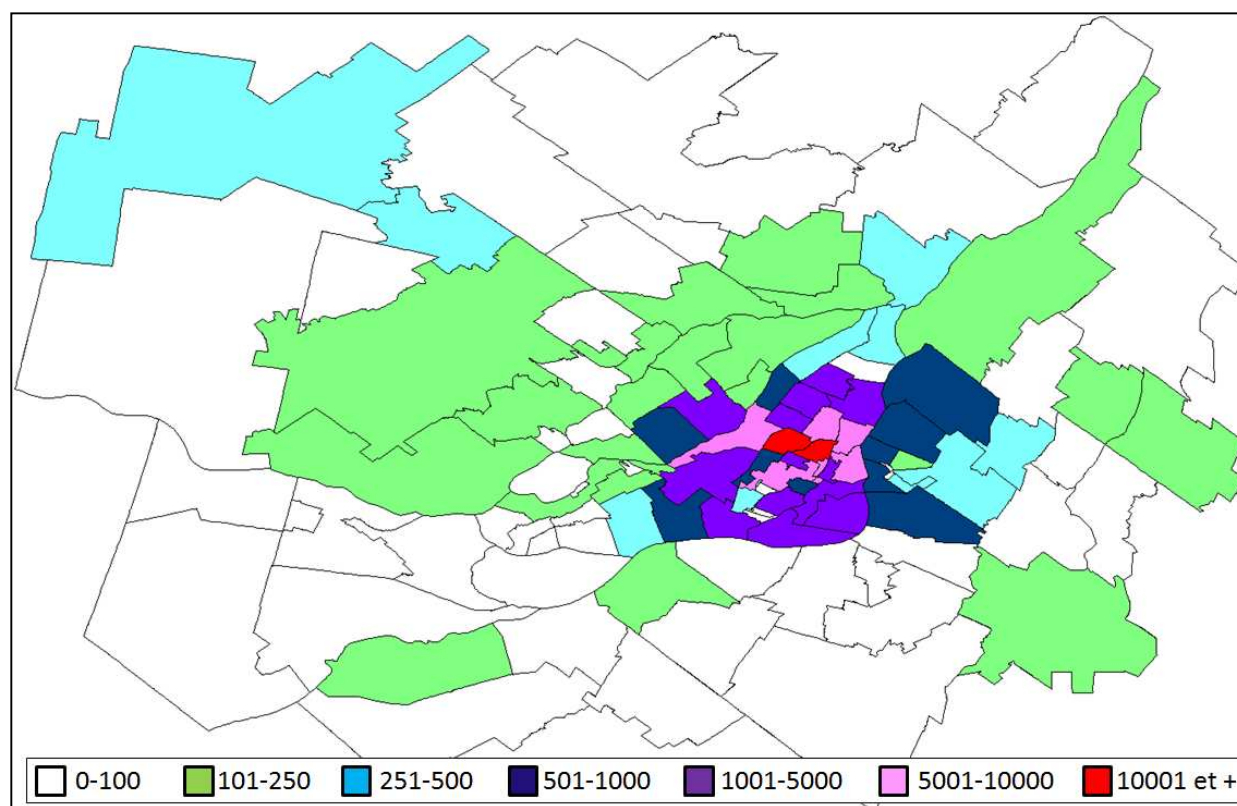


Figure 6.15 - Secteurs municipaux selon le nombre de points d'origine de déplacements

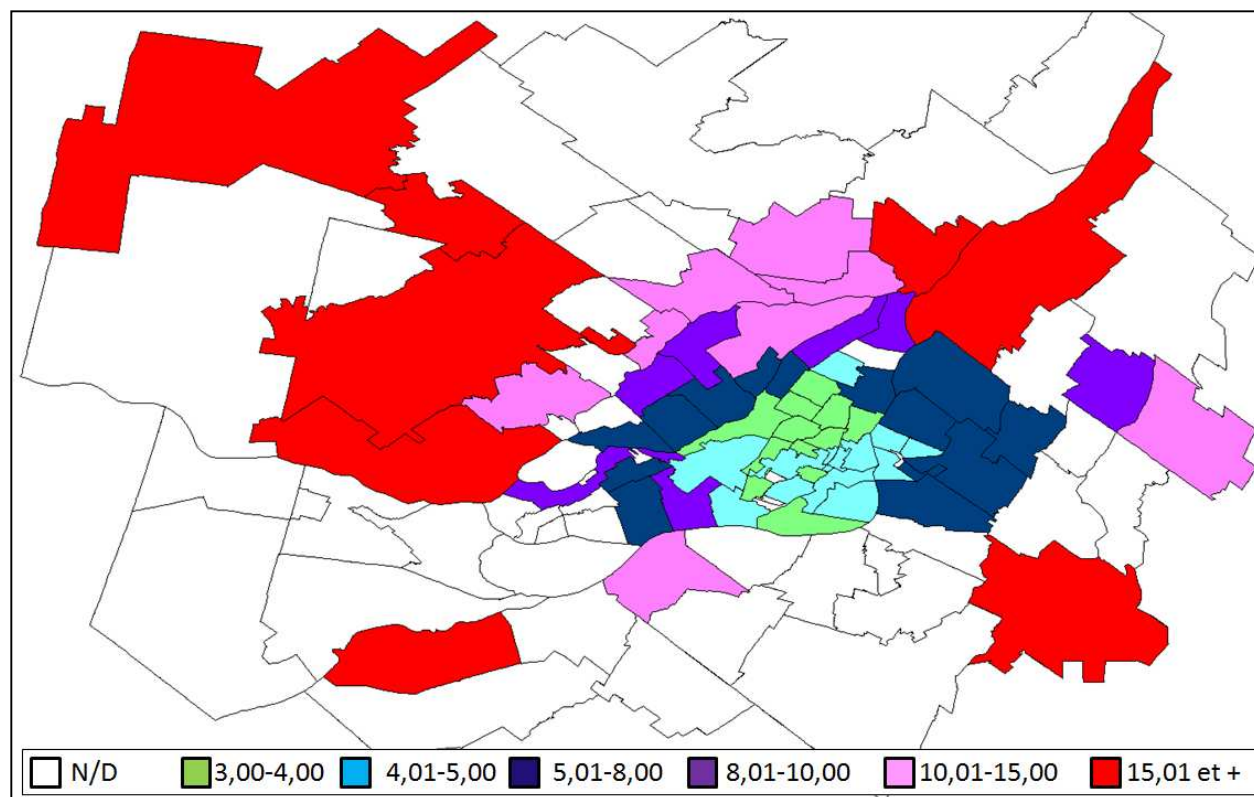


Figure 6.16 – Distance moyenne (km) des déplacements dont l'origine appartient au secteur

Une deuxième analyse intéressante effectuée sur les secteurs municipaux est celle des déplacements internes. Ce qui est ici appelé déplacement interne est un déplacement où le lieu de départ et le lieu d'arrivée se trouvent dans le même secteur municipal. La Figure 6.17 recense les secteurs municipaux qui comportent plus de 100 déplacements internes selon le pourcentage de déplacements internes par rapport au nombre total de déplacements originaires du secteur. Il est à noter que la moyenne de la distance parcourue pour les déplacements internes est de 1,42 km et que ces déplacements représentent 43 088 déplacements, soit 38,3% de tous les déplacements urbain. Le détail de ses informations se trouve dans le Tableau C.1 présenté en annexe. En excluant les déplacements internes de la moyenne urbaine, celle-ci passe à 6,82 km comparativement à 4,75 km lorsque tous les déplacements urbains sont considérés. La matrice de déplacements origine-destination traité selon les secteurs municipaux pour les 10 principaux secteurs d'origine est présentée au Tableau D.1 en annexe.

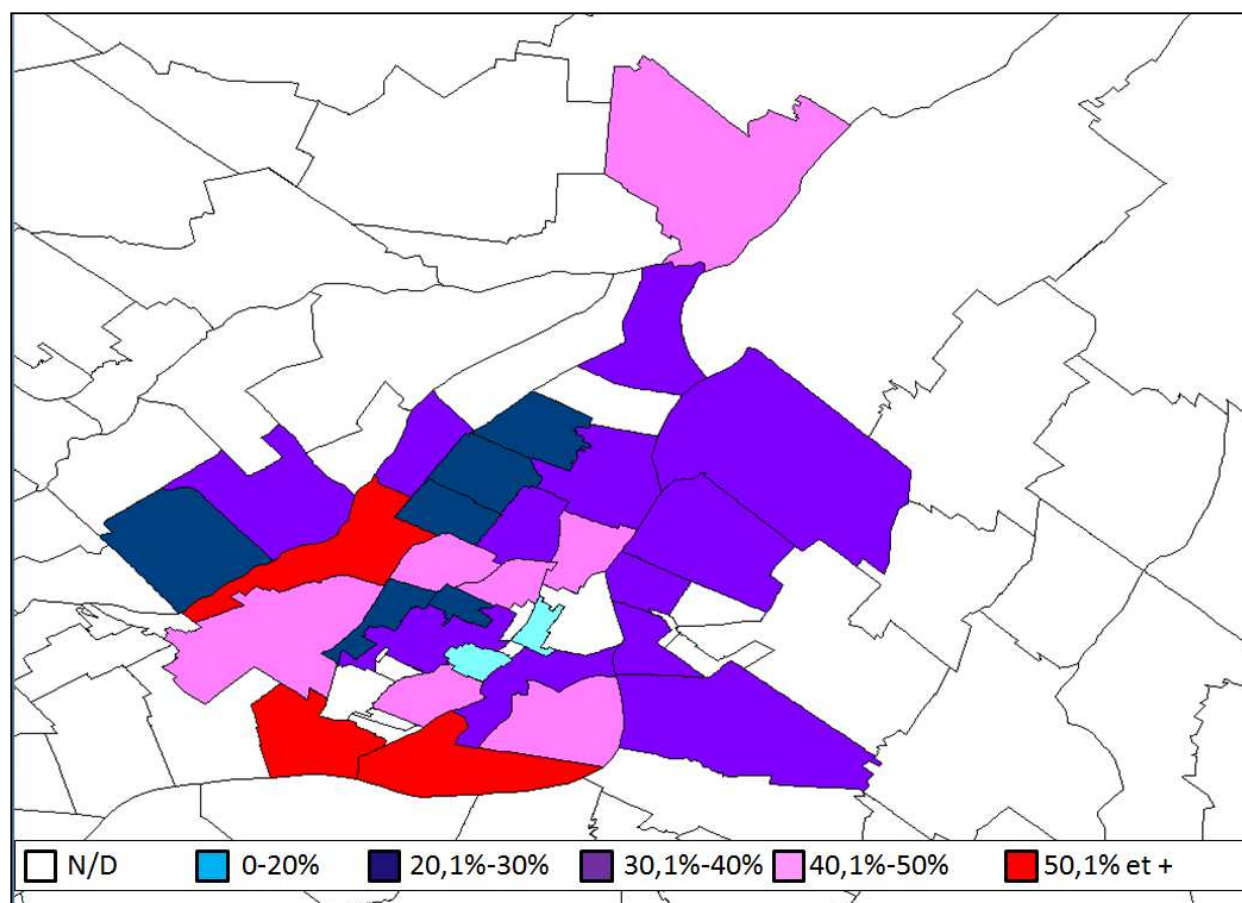


Figure 6.17 - Pourcentage de déplacements internes par secteur municipal

Les secteurs municipaux sont regroupés en régions afin d'obtenir des résultats globaux plus facilement interprétables. Le Tableau 6.6 est donc une matrice origine-destination des différentes régions tirées des secteurs municipaux. Ce tableau permet de voir les tendances de déplacements d'une région à l'autre en plus de présenter les déplacements internes de la région le long de la diagonale de la table. Afin de mieux comprendre ce que représente chacun des groupes, identifiés par des numéros, la carte de la Figure 6.18 associe chacun de ces groupes à un code de couleur, ceci permet donc de visualiser plus facilement les déplacements décrits dans la matrice origine-destination.

Tableau 6.6 - Matrice Origine-Destination des secteurs municipaux regroupés en régions

Destination Origine	10	11	12	13	14	30	31	40	41	50	51	52	53	54	55	56	57	58	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	Total
10	6931	4943	941	1229	92	191	278	79	46	5	24	23	18	26	87	14	35	8		27	18	14	27	13	24	2	2	9	15106
11	4901	50023	5070	1238	213	616	847	487	751	10	70	191	106	92	76	51	80	36	31	182	173	123	225	92	128	16	28	110	65966
12	1008	5078	4094	281	28	43	38	95	66	1	1	11	9	3	9	6	7	1	2	29	17	18	31	4	3	1		16	10900
13	1213	1239	304	4097	79	59	96	25	18	2	4	13	5	13	15	2	16	5		2	6	6	6	1	5		2	5	7238
14	84	213	26	87	137	1	1		1						1		2					1	1					1	556
30	191	602	54	55	1	1123	344	6	6	1	6	14	7	11	3			1		3	3	1			1				2433
31	289	836	41	105		339	1040		6		6	27	20	16	1						4		1				1		2732
40	88	474	101	23	2	7	3	331	126		1	2								1		10	13	3	5			5	1195
41	49	716	87	22	1	6	3	126	678		1		1		2					5	17	4	18	1	6	1		3	1747
50	2	8	2	1			2			7		3																	25
51	26	78	6	2		1	7		1		79	1																	201
52	31	188	7	5		17	29			3		132	4		1	1				1			3						422
53	18	105	3	4		10	26		1	1	1	1	43	2			1				1								217
54	26	83	8	14		13	18		1		1	2		53	2	2													223
55	89	78	5	16		1			1					4	84	4													282
56	15	47	5	2	1	1		1						3	4	88	3					1							171
57	32	72	19	14	4		1	1			1			1		2	83	1			1								232
58	5	28	5	4	1				1								4	15									1		64
60	2	19	3	1					1										14	3	1								44
61	26	187	30	5		1		2	4										3	187	8	1							454
62	19	174	15	5		3		3	12										1	14	139	1	1	1	1	2		1	392
63	8	128	20	5		3	2	7	5									1		1		106	5	5	4		1	2	303
64	31	214	34	7			1	21	13				1							3		8	118	5	5			5	466
65	10	88	4	2		2	1	2	2												9	6	37	6		2	2	173	
66	27	124	2	3		1		2	2										1				3	5	143	1	2	26	342
67		13	3																		1		1		1	12			31
68		28	2	3				1	2															1	2		48		87
69	9	123	6	6				5	2				1								1	3	5	2	14		3	225	405
Total	15130	65909	10897	7236	559	2438	2737	1194	1746	30	195	420	215	224	285	170	231	68	52	458	390	305	465	170	348	35	90	410	112407

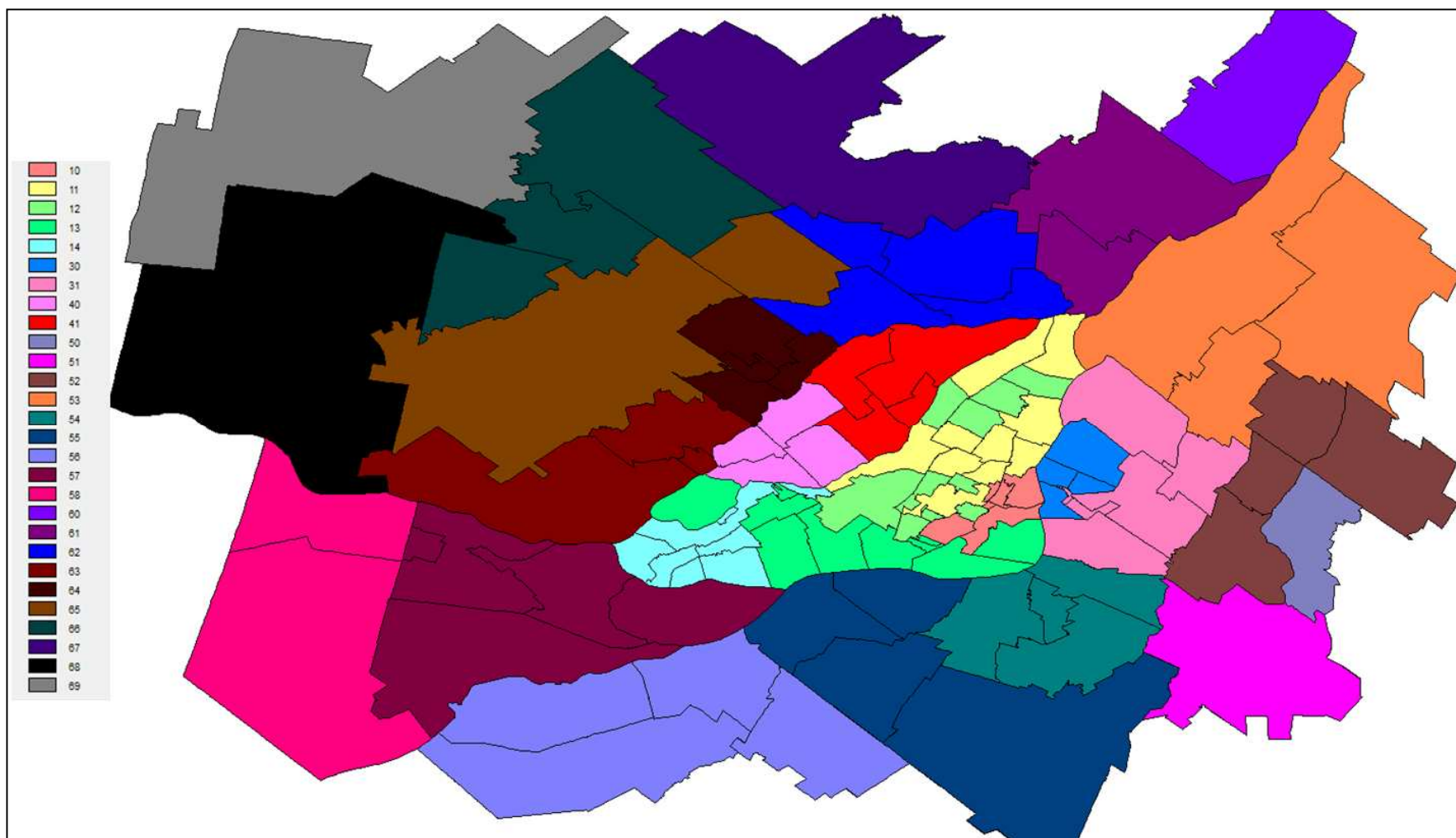


Figure 6.18- Secteurs municipaux regroupés par régions

Les analyses sur les déplacements ont mis en évidence certains comportements et certaines caractéristiques qui jusqu'à maintenant n'avaient aucune visibilité. Ceci étant, tel que mentionné au début de ce chapitre, les analyses présentées ne sont pas exhaustives et de nombreuses combinaisons des analyses effectuées sont possibles afin de cibler un besoin statistique particulier. C'est là où le système automatisé de construction des tables de déplacements et de chaînes devient intéressant dans le but d'analyser des déplacements sous de nouveaux angles.

6.3 Les chaînes de déplacements

Le troisième élément à regarder, après avoir analysé les résultats concernant les arrêts et les déplacements, est la chaîne de déplacements. Ici, la chaîne de déplacements représente l'utilisation globale du véhicule, de son départ de la station jusqu'à son retour. Les chaînes de déplacements englobant à la fois les déplacements et les arrêts, de nombreuses analyses sont possibles. Il sera question de distributions des distances parcourues lors des chaînes recoupées par de divers attributs : le sexe de l'utilisateur, son âge, le jour de la semaine. L'aspect des durées d'utilisation, des durées totales des arrêts et du pourcentage de temps où le véhicule se trouve à l'arrêt seront présentés, combinés avec des attributs supplémentaires. Tout comme cela a été fait avec les déplacements et les arrêts, le retour au domicile lors de la chaîne est analysé. La décomposition des chaînes selon leurs nombres de déplacements permet de produire une analyse intéressante et originale mettant en perspective plusieurs caractéristiques des chaînes.

Tout d'abord, la Figure 6.19 présente la distribution des distances parcourues lors des déplacements composants chacune des chaînes. Ces données recueillies, comme toutes les analyses antérieurement et ultérieurement présentées, par un traitement des traces GPS permettent une présentation différente de résultats déjà connus de Communauto de par les lectures d'odomètres effectuées par les usagers en fin de chaîne. Il paraissait cependant important de présenter ce graphique afin de bien comprendre le portrait global des distances parcourues. Le graphique montre donc une concentration importante des distances globales des chaînes de déplacements en deçà des 20 kilomètres parcourus. Pour la période analysée, 27 615 chaînes ont été répertoriées. De celles-ci, 14 414 (52%) sont associées à des hommes et 13 201 (48%) à des femmes alors que 45,2% des membres de Communauto sont des femmes. Les différences entre les hommes et les femmes à ce niveau semblent minimales puisque la tendance de leur rapport est

plutôt stable, les hommes représentant une plus grande proportion des chaînes totales. Des analyses de distribution de distances avec des critères plus spécifiques suivront, mais d'abord d'autres analyses plus globales sont présentées.

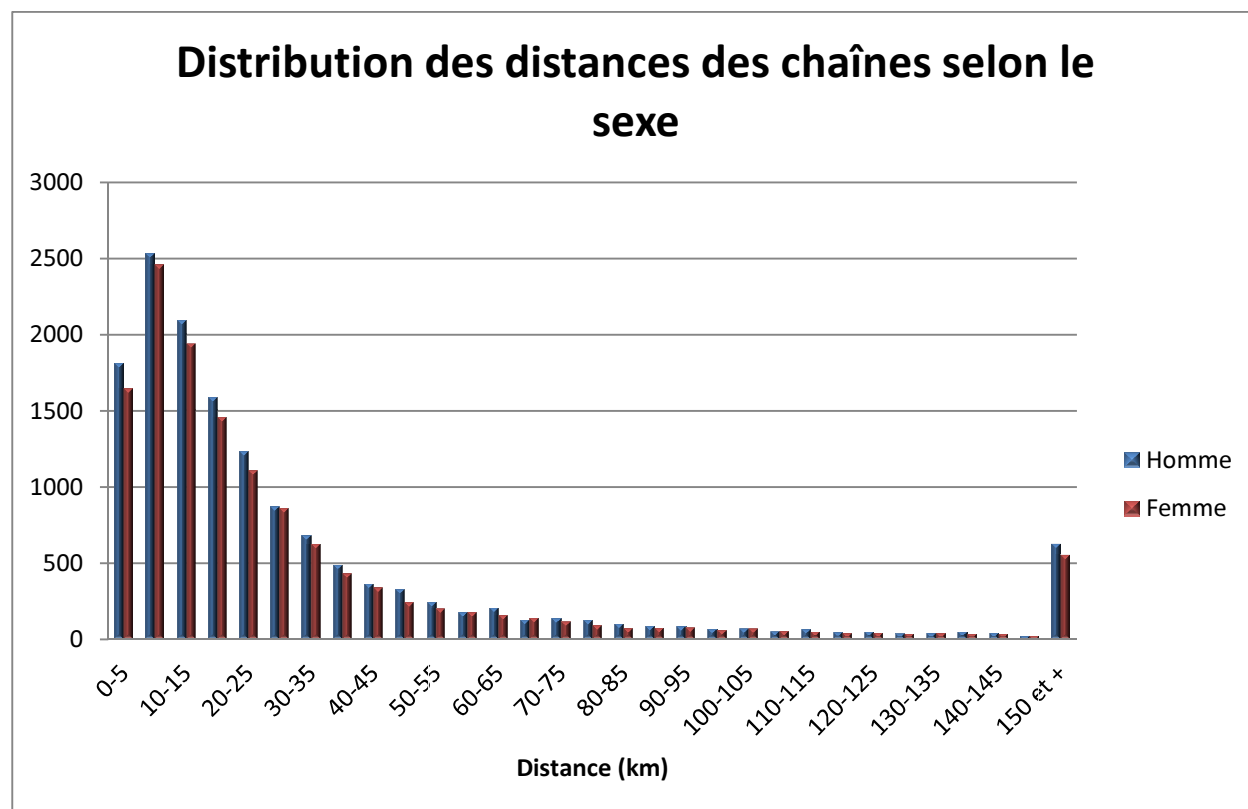


Figure 6.19 – Distribution des distances des chaînes selon le sexe

Encore d'un point de vue global, l'analyse des durées des chaînes de déplacements peut être effectuée. La Figure 6.20 montre la distribution globale de la durée des chaînes selon le sexe de l'utilisateur. Ce qui ressort de ce graphique est l'importante concentration des chaînes ayant une durée comprise entre 1h et 6h. Il est également possible de noter une surreprésentation des femmes dans les sous catégories de chaînes d'une durée de moins d'une heure et de celles comprises entre une et deux heures, en effet elles représentent en proportion respectivement 52% et 50% alors qu'elles sont associées à 48% de toutes les chaînes. Les hommes sont quant à eux surreprésentés dans les catégories de 5h-6h, 6h-7h et 7h-8h avec respectivement 55%, 56% et 54% des chaînes par catégories, comparativement à leur indice de représentation global de 52%. Encore une fois, ces données seraient disponibles à partir de la table des transactions, mais uniquement basé sur les plages de réservations et non l'utilisation réelle. Ce graphique est

nécessaire afin de bien comprendre le portrait d'ensemble des durées de chaînes et ainsi pouvoir poursuivre avec des analyses s'appuyant sur ces résultats.

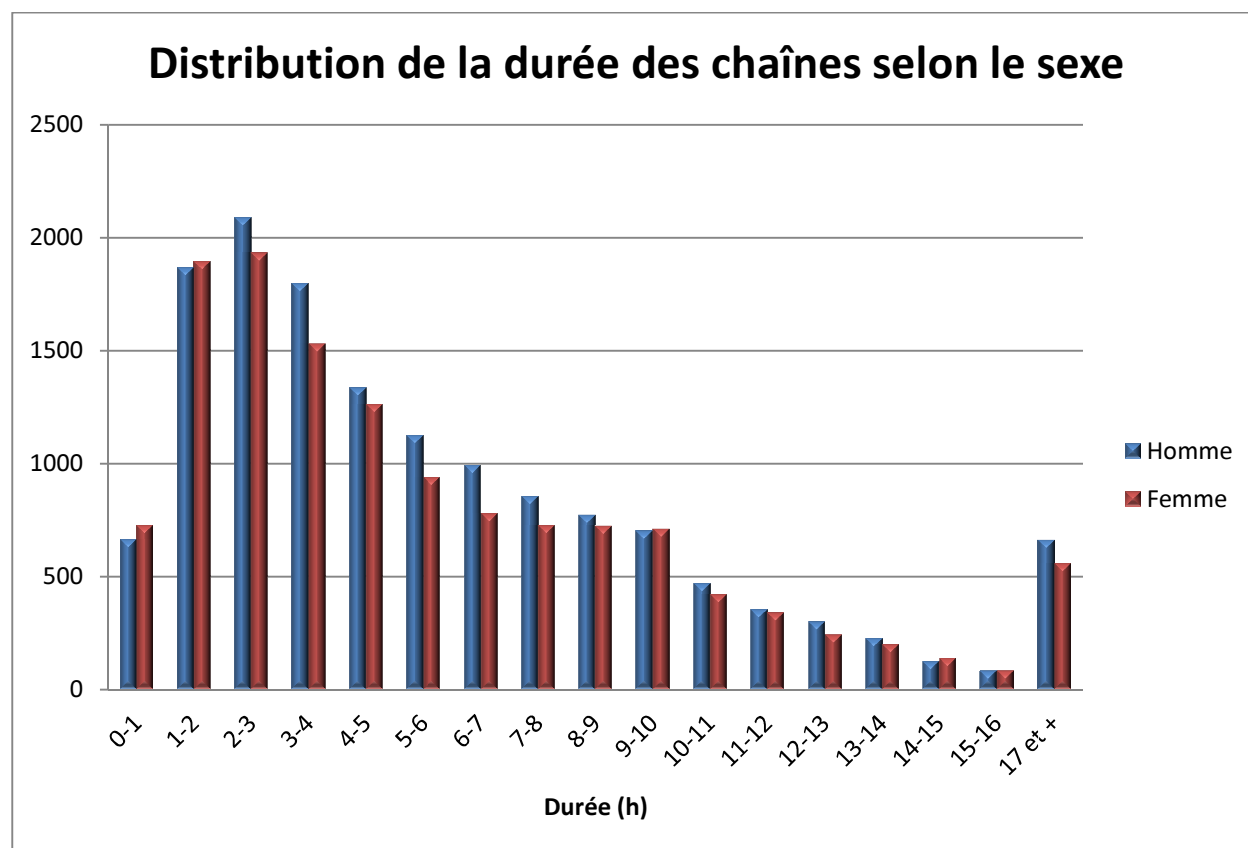


Figure 6.20 – Distribution de la durée des chaînes selon le sexe

Un second aspect concernant la durée des chaînes de déplacements qu'il est intéressant d'analyser au point de vue global est la durée des temps d'arrêt cumulés. Cette donnée permet d'obtenir de l'information concernant une inutilisation du véhicule alors qu'il est non disponible pour d'autres usagers. Ce que la Figure 6.21 montre est que la principale concentration des durées d'arrêts cumulés se trouve entre 0 et 1 heure pour les femmes (19,9% de l'ensemble des chaînes) et entre 1 et 2 heures pour les hommes (18,3% du nombre total de chaînes attribuables à ces derniers). Ce résultat est cohérent avec les observations précédentes qui montraient que les femmes ont tendance à effectuer des chaînes de déplacements avec une durée globale plus courte que les hommes; un temps inférieur à l'arrêt semble donc être la suite logique de ce comportement. L'allure générale du graphique semble similaire à celle du graphique concernant les durées globales de chaînes, à l'exception de la colonne de 0 à 1 heure et de la descente plus accentuée pour les arrêts de plus de 9 heures. Cette représentation du temps où le véhicule est

immobile à l'intérieur d'une chaîne de déplacement représente une vision globale de la répartition. L'approfondissement de cette analyse passe par une comparaison du temps passé à l'arrêt pour une durée globale de chaîne définie. Les données servant à partir les graphiques des Figure 6.21 et Figure 6.22 se trouvent dans le Tableau 6.7 présenté ultérieurement.

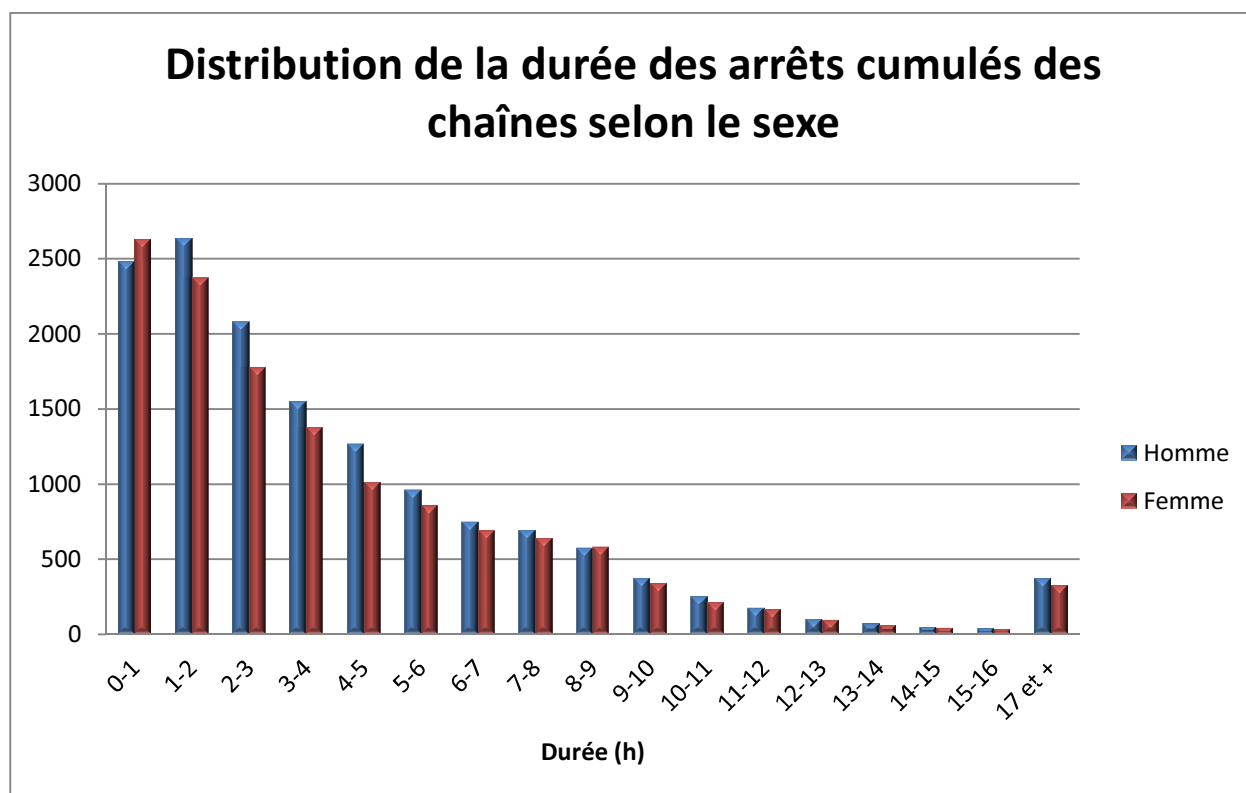


Figure 6.21 – Distribution de la durée des arrêts cumulés des chaînes selon le sexe

La Figure 6.22 illustre donc cette comparaison du temps passé à l'arrêt pour une certaine durée globale de chaîne. Sur le graphique, les colonnes de gauche représentent la moyenne des durées globales de chaîne pour l'intervalle de temps spécifié en abscisse. Les colonnes de droite pour leurs parts représentent les durées des arrêts cumulés pour un intervalle de durée globale de la chaîne, toujours en abscisse. L'axe des ordonnées représentant la durée en minute, il est possible de constater que la croissance des durées globales des chaînes est accompagnée d'une croissance des durées moyennes des arrêts cumulés. Cependant, cette croissance semble se comporter d'une manière non proportionnellement constante. Les arrêts semblent effectivement représenter une portion de plus en plus importante de la durée globale plus la chaîne s'étire dans le temps.

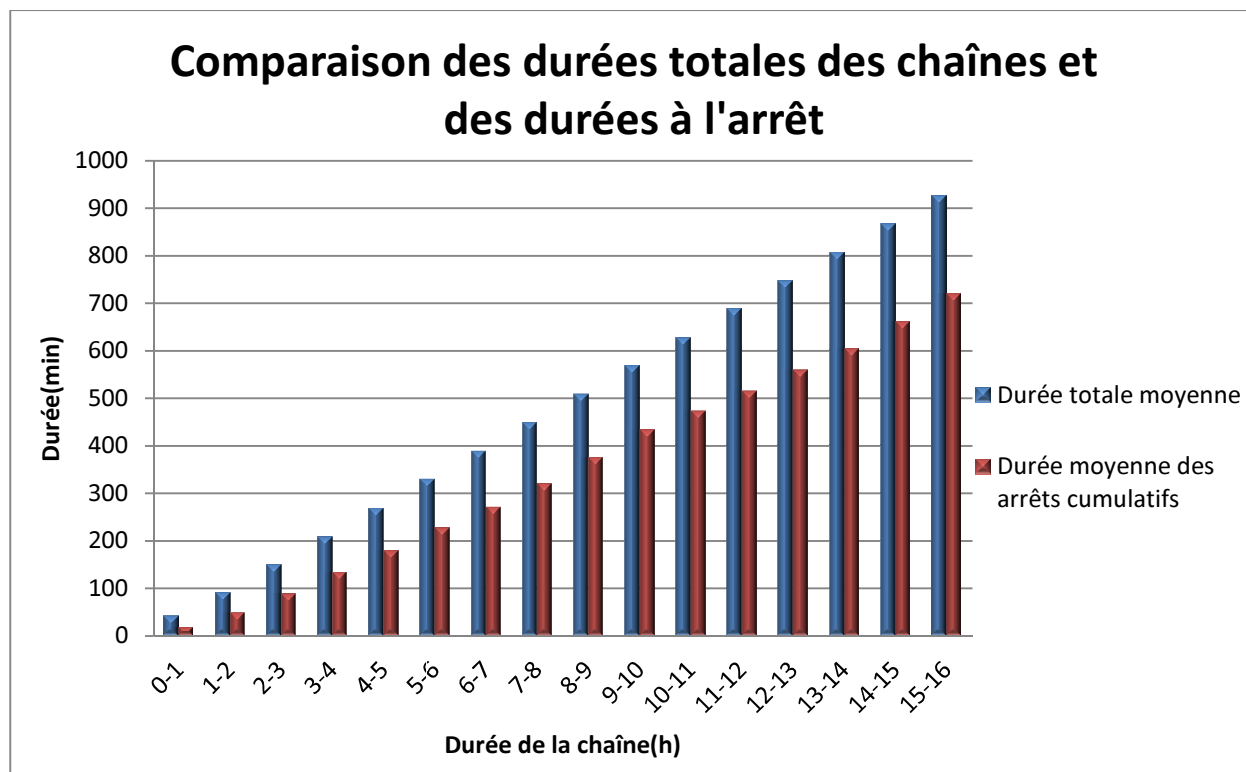


Figure 6.22 – Comparaison des durées totales des chaînes et des durées à l'arrêt

La prochaine analyse représente le ratio des temps moyens cumulés passés à l'arrêt par rapport aux temps moyens globaux des chaînes de déplacement selon l'intervalle de temps de cette dernière. Le graphique de la Figure 6.23 renforce la tendance observée sur le graphique précédent. Il est à noter qu'une forte progression de ce rapport est appréciable pour les chaînes d'une durée allant jusqu'à huit heures pour ensuite se stabiliser pour les chaînes d'une plus longue durée. Le temps où le véhicule est considéré comme étant en mouvement augmente donc à un rythme inférieur à la croissance du temps passé à l'arrêt. Ce phénomène tend à indiquer que lorsque les usagers empruntent des véhicules pour une période plus prolongée, sans excéder la durée de huit heures, leur utilisation réelle du véhicule diminue grandement de manière proportionnelle. Suivant le même raisonnement, les usagers prolongeant leurs emprunts au-delà d'une période de huit heures utiliseront leur véhicule selon le même ratio, plus ou moins 2%, jusqu'à une période de seize heures d'emprunt. Les deux types de comportements qui ressortent de cette étude sont tout à fait distincts et représentent chacun un aspect particulier de l'autopartage. Il est cependant important de garder à l'esprit que la présente étude est effectuée

en comparant des moyennes et par conséquent la répartition au sein d'un même intervalle n'est pas traitée.

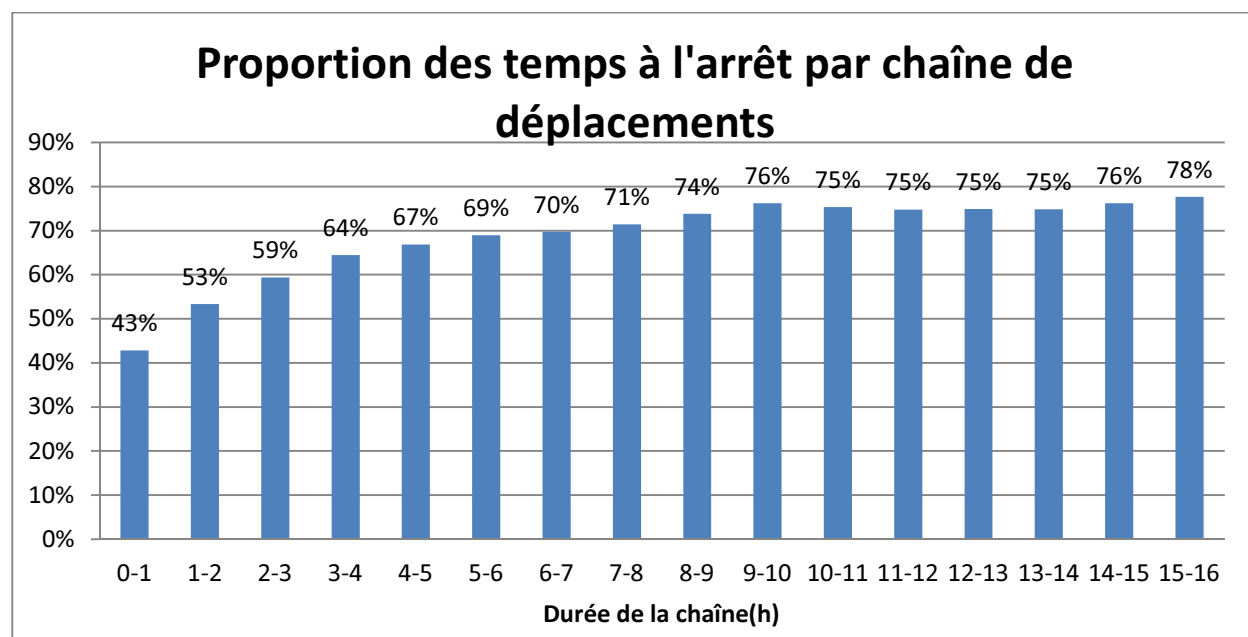


Figure 6.23 – Proportion des temps à l'arrêt par chaîne de déplacements

Le Tableau 6.7 montre le détail des données concernant le ratio d'utilisation réelle du véhicule lors d'une chaîne de déplacements. Contrairement au graphique précédent, il est à noter que le pourcentage illustré dans le tableau représente la proportion de temps passée en mouvement plutôt que celle du temps passé à l'arrêt. Les données brutes des moyennes en minutes permettent de mieux saisir d'un point de vue comportemental les résultats concluants des ratios d'utilisation. C'est avec ce tableau que se termine la sous-section traitant des durées des arrêts au sein des chaînes de déplacements. De nombreuses analyses supplémentaires sont possibles dans cette sous-catégorie, des besoins spécifiques de statistiques pourraient être comblés aisément en ayant recours aux données brutes des tables de construction des chaînes de déplacements.

Tableau 6.7 - Proportion des temps où le véhicule est en mouvement selon la durée de chaînes

Durée de la chaîne globale	Durée moyenne de la chaîne (min)	Durée moyenne des arrêts cumulés (min)	Temps où le véhicule est en mouvement (min)	Pourcentage du temps véhicule en mouvement
0h à 1h	42	18	24	57%
1h à 2h	92	49	43	47%
2h à 3h	150	89	61	41%
3h à 4h	203	135	74	36%
4h à 5h	269	180	89	33%
5h à 6h	330	227	102	31%
6h à 7h	389	271	118	30%
7h à 8h	449	320	128	29%
8h à 9h	509	376	133	26%
9h à 10h	569	433	135	24%
10h à 11h	628	473	155	25%
11h à 12h	689	515	174	25%
12h à 13h	747	559	188	25%
13h à 14h	807	604	203	25%
14h à 15h	867	661	206	24%
15h à 16h	927	720	207	22%

Une analyse d'un tout autre type est aussi possible. Tel que présenté dans la section traitant des déplacements, le retour au domicile de l'utilisateur pendant sa chaîne de déplacement est un élément intéressant à prendre en compte. Le graphique présenté à la Figure 6.24 montre donc les proportions d'arrêts au domicile présentes dans les chaînes de déplacement. Il en ressort qu'au point de vue global, 25,4% des hommes et 28,2% des femmes effectuent au moins un retour à leur résidence lorsqu'ils utilisent un véhicule d'autopartage. Les femmes ont donc tendance à effectuer des retours au domicile de manière plus fréquente. Si l'on regarde le nombre de fois ou un seul retour au domicile est effectué durant la chaîne, les femmes effectuent ce retour 7,8% plus fréquemment que les hommes. Cette différence passe à 18,4% lorsqu'il y a deux retours à la résidence et grimpe à 44,4% lorsque l'on considère uniquement les cas où trois retours au domicile sont effectués. Ces écarts sont probablement liés à des distinctions du type d'activités

effectué par les hommes et les femmes lors de leur utilisation d'un véhicule d'autopartage, cette analyse du type d'activité ne fait toutefois pas l'objet de ce travail.

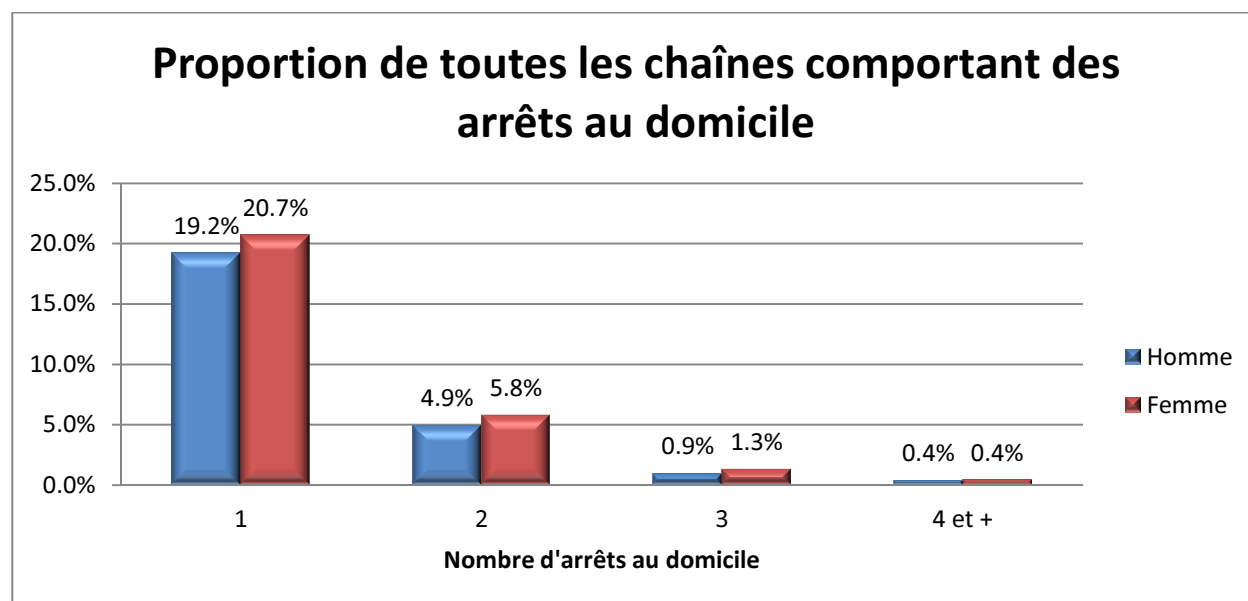


Figure 6.24 – Proportions de toutes les chaînes comportant des arrêts au domicile

Le dernier type d'analyse qui sera présenté dans ce chapitre concerne le nombre de déplacements effectués à l'intérieur d'une chaîne de déplacements. Les graphiques de la Figure 6.25 et Figure 6.26 montrent la distribution des chaînes en fonction du nombre de déplacements qui les composent. La plus forte concentration de chaîne est constituée de deux déplacements, il s'agit de la chaîne de grandeur minimale puisque toutes les chaînes effectuées par des usagers de Communauto impliquent des retours aux stations de départ. La proportion des chaînes avec un nombre de déplacements donnés diminue lorsque le nombre de déplacements augmente. Les chaînes composées de deux, trois, quatre ou cinq déplacements représentent toutes plus de 3000 chaînes, soit plus de 10% des chaînes totales. Ces différentes catégories de chaînes de déplacements seront donc analysées séparément afin de constater s'il existe des écarts dans leurs caractéristiques respectives. Les chaînes composées de plus de cinq déplacements seront regroupées dans la même catégorie pour les analyses qui suivront.

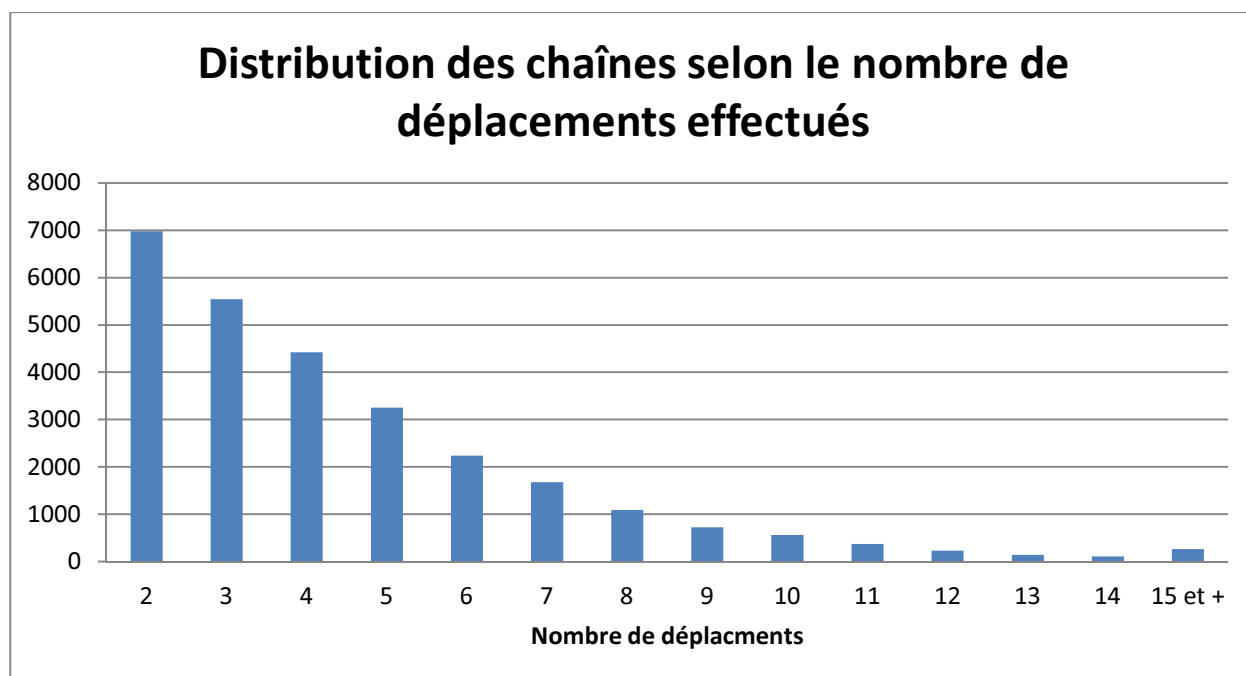


Figure 6.25 – Distribution des chaînes selon le nombre de déplacements effectués

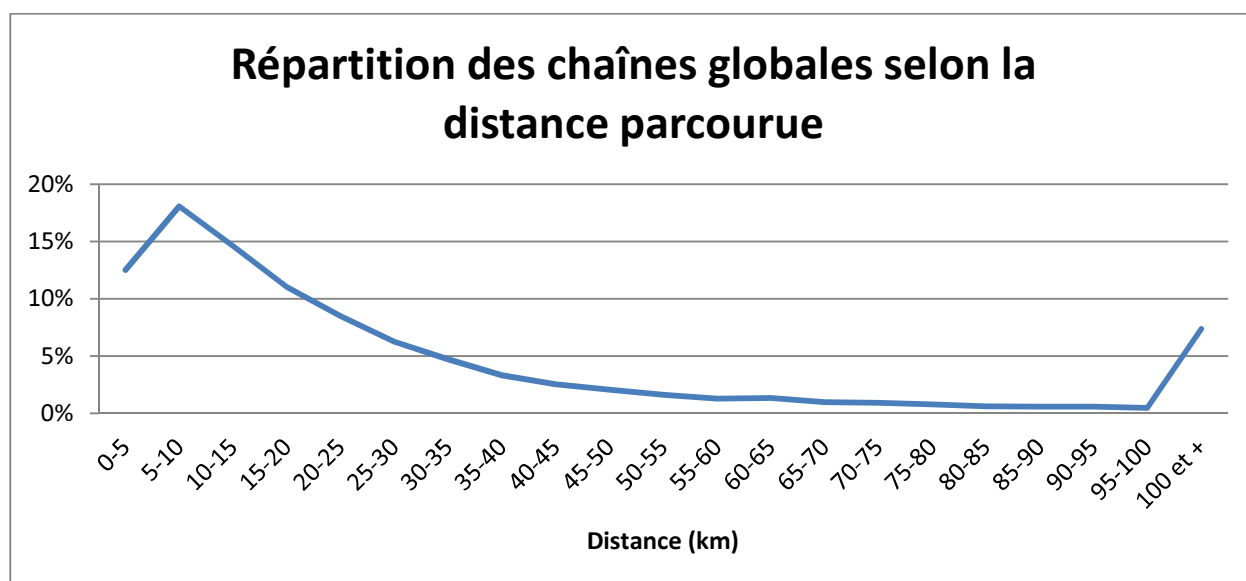


Figure 6.26 – Répartition des chaînes globales selon la distance parcourue

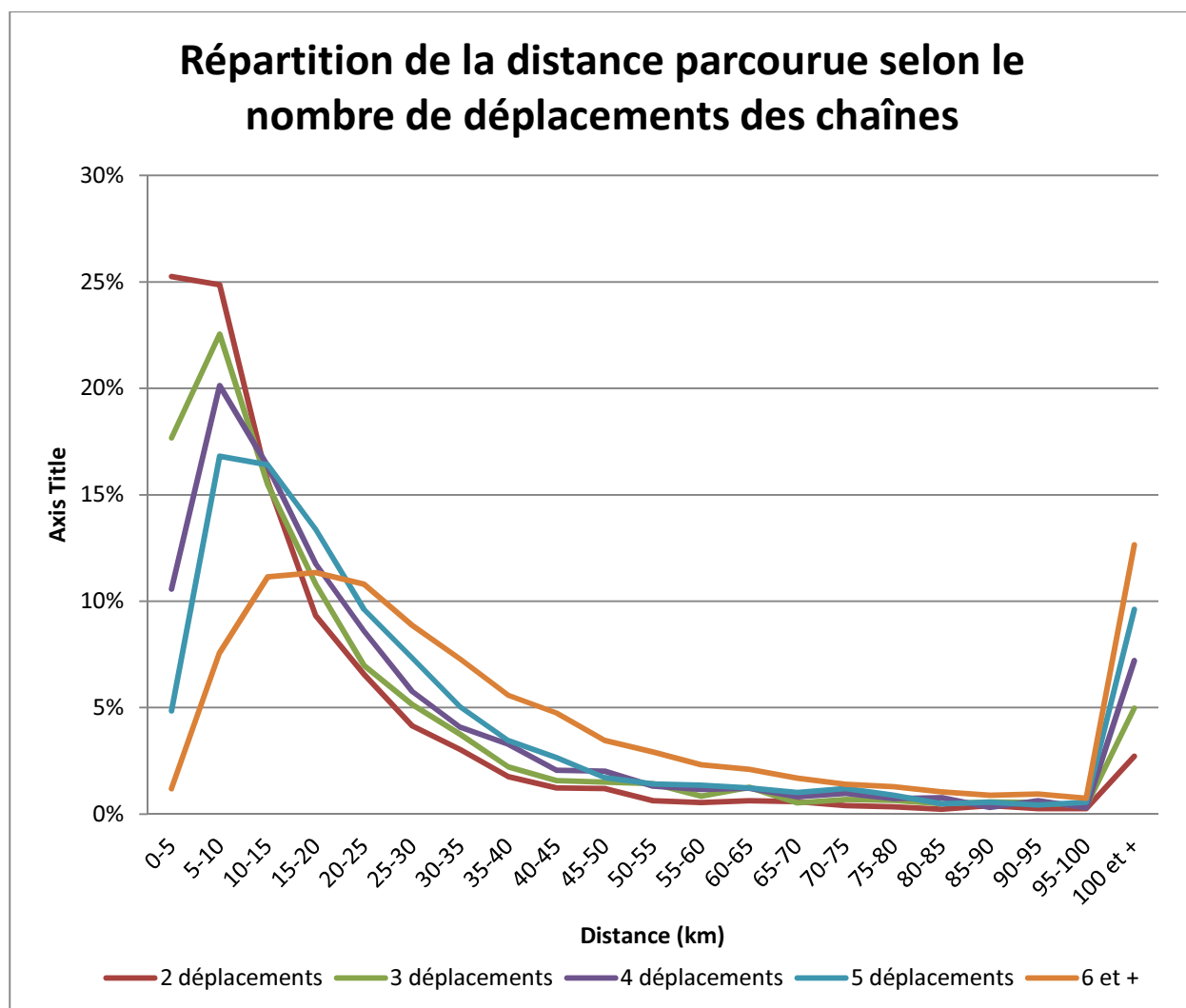


Figure 6.27 - Répartition de la distance parcourue selon le nombre de déplacements des chaînes

La répartition des distances parcourues pour chacune des catégories de chaînes composées d'un nombre distinct de déplacements montre des caractéristiques particulières. Comme il aurait été possible de supposer, la tendance montre que lorsque des déplacements s'ajoutent à la chaîne, celle-ci devient plus longue en termes de distance parcourue (Figure 6.27). Ainsi environ 50% des chaînes composées de deux déplacements sont de moins de 10 kilomètres, cette proportion décroît de manière régulière jusqu'à atteindre moins de 10% pour les chaînes constituées de plus de cinq déplacements. Le Tableau 6.8 synthétise ces proportions, il permet de mettre en évidence le déplacement graduel de la courbe de proportion vers une plus grande distance parcourue.

Tableau 6.8- Répartition de la distance parcourue selon le nombre de déplacements

	Nombre de déplacements				
Distance (km)	Deux	Trois	Quatre	Cinq	Six et plus
0-10	50,1%	40,2%	30,7%	21,7%	8,8%
10-25	31,5%	33,2%	36,7%	39,4%	33,3%
25-50	11,4%	14,2%	17,2%	20,2%	30,0%
50-75	2,8%	4,7%	5,5%	6,2%	10,4%
75-100	1,5%	2,6%	2,7%	2,9%	4,9%
100 et +	2,7%	5,0%	7,2%	9,6%	12,7%

Tableau 6.9 - Résumé de la durée des arrêts et des distances parcourues

	Durée arrêt(s) (min)		Distance (km)	
	Moyenne	Écart Type	Moyenne	Écart Type
Déplacements				
Tous	56,22	97,68	8,11	23,67
Urbains	54,63	94,76	4,75	8,37
Interurbains	69,74	118,73	36,54	61,70
Domicile	49,07	101,54	7,40	23,73
Sans domicile	56,84	97,32	8,17	23,67
Urbain+domicile	49,17	101,27	3,93	10,52
Urbain+sans domicile	55,11	94,15	4,82	8,15
Chaînes de déplacements				
Tous	255,91	278,40	36,91	76,79
Urbains	244,02	255,89	21,16	22,94
Interurbains	333,38	385,96	139,58	169,57
Domicile	283,21	306,70	41,29	73,51
Sans domicile	245,91	266,59	35,31	77,90
Urbain+domicile	272,46	292,01	21,91	24,10
Urbain+sans domicile	234,01	241,10	20,90	22,50

CHAPITRE 7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

7.1 Contributions

Ce travail n'est pas le premier à traiter d'analyse de traces GPS; il n'est pas non plus le premier à traiter des caractéristiques des usagers de l'autopartage. Par contre, il est le premier à faire le lien entre les deux. En effet, avant ce travail, les analyses qui devaient être faites sur les déplacements reposaient exclusivement sur des sondages effectués sur des bases volontaires. Maintenant, avec le système d'information développé et le type de données utilisé, il est possible de se servir du positionnement réel des véhicules à des fins d'analyse. Cette approche permet d'établir des portraits plus globaux, un plus grand nombre de chaînes de déplacements peuvent être analysées simultanément.

Le système développé permet une analyse de données historiques sur de longues périodes, contrairement aux sondages. Les résultats obtenus sont interprétables et nécessitent un nombre limité de traitements manuels. Les déplacements rendus visibles grâce à ce système permettent d'obtenir des analyses jusqu'alors inexistantes. En effet, les anciennes méthodes ne rendaient pas possible le traitement de courts déplacements ou la comptabilisation d'arrêts de courte durée. Le système développé le fait, en plus de fournir une certaine flexibilité au niveau des paramètres permettant de définir les arrêts : le temps passé immobile et l'incertitude de positionnement considérée.

L'analyse elle-même a permis de voir des éléments qui jusqu'à maintenant étaient inconnus. Parmi ceux-ci, les retours des usagers à leur domicile. Il était effectivement difficilement envisageable sans ce système de déterminer si lors de leur utilisation les usagers de l'autopartage se servaient du véhicule pour effectuer un arrêt à leur lieu de résidence. Le temps moyen passé à l'arrêt lors des chaînes de déplacements était également inconnu, tout comme le pourcentage du temps passé à l'arrêt pour une durée de chaîne spécifique. Les analyses particulières effectuées en fonction du nombre de déplacements composant la chaîne sont aussi une nouveauté puisque le nombre exact de déplacements effectués et leurs natures dépendaient encore une fois de résultats d'enquêtes et de sondages ponctuels. En outre, toutes les analyses effectuées sur les déplacements représentent des nouveautés pour la raison précédemment invoquée.

7.2 Limitations

Ce travail a été effectué au meilleur des connaissances et des outils disponibles. Cependant, certains aspects pourraient être améliorés dans le but d'obtenir des résultats encore plus représentatifs de la réalité. Tout d'abord, les appareils GPS utilisés à l'intérieur des véhicules transmettent des données environ une fois toutes les 2 minutes. Cette précision est grandement suffisante pour l'utilisation actuelle de l'information, soit être en mesure de repérer le positionnement du véhicule en cas de problème, mais elle pourrait être améliorée dans le but d'obtenir une reconnaissance plus efficace des arrêts. En effet, une précision de données aux 15 secondes, par exemple, permettrait de grandement diminuer les risques d'erreurs d'identification d'un arrêt. Avec une précision accrue, des arrêts plus courts que les 5 minutes présentées dans ce travail seraient détectables tout en améliorant la qualité des arrêts identifiés avec la précision actuelle de 2 minutes. En plus, au niveau technologique, il serait intéressant de munir toute la flotte de dispositifs GPS afin de pouvoir avoir un portrait global en tout temps. Il serait également possible de comparer les résultats obtenus avec les résultats aux sondages et questionnaires puisque ceux-ci ne sont pas uniquement transmis aux usagers utilisant des véhicules munis de GPS.

En ce qui concerne le système d'information développé, quelques améliorations pourraient y être apportées. Tout d'abord, tel que présenté plus tôt, des correspondances entre les chaînes de déplacements créées depuis les traces GPS et les transactions des usagers ont été réalisées. Certaines de ces attributions de chaînes à un usager sont composées de correspondances dites « partielles » et par conséquent peuvent être attribuées au mauvais usager si l'usager rapportant sa voiture arrive en avance et que l'usager suivant part avant son heure de réservation ou si la situation inverse se produit. Il serait donc intéressant de développer un algorithme traitant ces plages de chevauchement et les problématiques d'identification qui peuvent y être reliées.

7.3 Perspectives futures

De nombreuses autres analyses seraient possibles, des analyses complètement différentes de celles présentées ou des combinaisons de certains critères pour produire des statistiques spécifiques. Le but ici n'étant pas de montrer l'ensemble des analyses pouvant être effectuées, mais bien l'essence de ce qui peut être accompli en mettant l'emphasis sur la souplesse du système développé et sur le nombre important de paramètres et caractéristiques avec lesquels des manipulations peuvent être réalisées.

Ce travail a établi des bases en ce qui a trait à la construction de chaînes de déplacements depuis des points de positionnements GPS. Cependant, de nombreuses possibilités restent ouvertes pour faire suite au travail réalisé. Il serait possible d'inclure des bases de données de caractérisation de lieux d'activités spatialement représentées afin d'obtenir des portraits plus juste des habitudes comportementales des usagers de l'autopartage. Des analyses plus poussées réalisées selon certains groupes d'usagers en utilisant les données démographiques de leur secteur de recensement, par exemple, pourraient être réalisées.

En plus de ces possibilités, le développement d'une plateforme de données pouvant produire des statistiques et des rapports en direct selon les spécifications désirées semble être la suite logique à ce travail. Un tel système permettrait entre autres de comparer les habitudes de mobilité des usagers de l'autopartage avec les résultats des enquêtes origine-destination effectuées à Montréal.

Finalement, les résultats de cette étude pourraient encourager Communauto à offrir des forfaits, ou des formules différentes. Elle pourrait servir par exemple à aiguiller leur choix de se diriger vers la possibilité d'offrir leur service pour des allers simples (chaîne ouverte). Il est donc difficile de mesurer l'ensemble des perspectives futures de ce travail puisqu'il semble constituer le début de nombreux travaux qui pourront être réalisés sur le sujet.

BIBLIOGRAPHIE

- Bohte, W., & Maat, K. (2009). Deriving and validating trip purposes and travel modes for multi-day GPS-based travel surveys: A large-scale application in the Netherlands. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(3), 285-297. doi:10.1016/j.trc.2008.11.004
- Cervero, R., & Tsai, Y. (2004). City CarShare in San Francisco, California second-year travel demand and car ownership impacts.(pp. 117-127): National Research Council.
- Du, J., & Aultman-Hall, L. (2007). Increasing the accuracy of trip rate information from passive multi-day GPS travel datasets: Automatic trip end identification issues. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 220-232. doi:10.1016/j.tra.2006.05.001
- Gong, H., Chen, C., Bialostozky, E., & Lawson, C. T. (2012). A GPS/GIS method for travel mode detection in New York City. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(2), 131-139. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.003
- Lee, M., Fucci, A., & Lorenc, P. (2011). *Using GPS Data Collected in Households Travel Surveys to Assess Physical Activity*. Transportation Research Board 2012.
- Lu, M., Chen, W., Shen, X., Lam, H.-C., & Liu, J. (2007). Positioning and tracking construction vehicles in highly dense urban areas and building construction sites. *Automation in Construction*, 16(5), 647-656. doi:10.1016/j.autcon.2006.11.001
- McGuckin, N., & Murakami, E. (1999). Examining trip-chaining behavior: Comparison of travel by men and women. *Transportation Research Record*(1693), 79-85.

- Mintsis, G., Basbas, S., Papaioannou, P., Taxiltaris, C., & Tziavos, I. N. (2004). Applications of GPS technology in the land transportation system. *European Journal of Operational Research*, 152(2), 399-409. doi:10.1016/s0377-2217(03)00032-8
- Millard-Ball, A., Murray, G., Ter Schure, J., Fox, C., & Consulting, N. (2005). Car-sharing: Where and How it Succeeds. *Transit Cooperative Research Program TCRP (Report 108), Research Sponsored by the Federal Transit Administration in Cooperation with the Transit Development Corporation*, 264. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Morency, C., Trépanier, M., & Agard, B. (2011). *Typology of carsharing members*. Transportation Research Board 2011 Annual Meeting.
- Papinski, D., Scott, D. M., & Doherty, S. T. (2009). Exploring the route choice decision-making process: A comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(4), 347-358. doi:10.1016/j.trf.2009.04.001
- Primerano, F., Taylor, M. A. P., Pitaksringkarn, L., & Tisato, P. (2008). Defining and understanding trip chaining behaviour. *Transportation*, 35(1), 55-72. doi:10.1007/s11116-007-9134-8
- Roorda, M. J., Miller, E. J., & Nurul Habib, K. M. (2008). Validation of TASHA: A 24-h activity scheduling microsimulation model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(2), 360-375. doi:10.1016/j.tra.2007.10.004
- Schwartz, J. (1999). *Car Free Cities Workgroup Seminar, London*.

- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Chung, M. S. (2009). North American carsharing: 10-year retrospective. *Transportation Research Record*(2110), 35-44. doi:10.3141/2110-05
- Statistique-Canada. (2011). Fichier des codes postaux par circonscriptions électorales fédérales (FCPCEF), ordonnance de représentation de 2003. Tiré de http://ivt.crepuq.qc.ca/recensements/recensement2006/fichiersGeo2006_FCPCEF.html
- STM. (2011). Tiré de <http://www.stm.info/info/comm-11/col11025.htm>
- Stopher, P., FitzGerald, C., & Zhang, J. (2008). Search for a global positioning system device to measure person travel. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(3), 350-369. doi:10.1016/j.trc.2007.10.002
- Valiquette, F. (2010). *Typologie des chaînes de déplacements et modélisation descriptive des systèmes d'activités des personnes*. Maîtrise ès sciences appliquées, École Polytechnique de Montréal, Montréal.
- Vande Walle, S., & Steenberghen, T. (2006). Space and time related determinants of public transport use in trip chains. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(2), 151-162. doi:10.1016/j.tra.2005.05.001
- Wolf, J., Guensler, R., & Bachman, W. (2001). Elimination of the travel diary: Experiment to derive trip purpose from Global Positioning System travel data.(pp. 125-134): National Research Council.

ANNEXE A – Transfert de coordonnées X,Y en UTM VBA

```
'fonction qui convertit des coordonnées X,Y en UTM 18
Function LongLatUTM(ByVal Longitude As Double, ByVal Latitude As Double) As Boolean

Dim Eccentricity, RayonTerre As Double
Dim RadLat, RadLong, RadRefLong As Double
Dim V, A, S, T, C As Double
Dim N0, k0, E0 As Double

N0 = 0
k0 = 0.9996
E0 = 500
Eccentricity = 0.0818192
RayonTerre = 6378.137

If Longitude < 0 Then
    Longitude = 360 + Longitude
End If

'4 * Atn(1) est égal à Pi
RadLat = Latitude * (4 * Atn(1)) / 180
RadLong = Longitude * (4 * Atn(1)) / 180
RadRefLong = 285 * (4 * Atn(1)) / 180

V = 1 / Sqr(1 - (Eccentricity ^ 2) * ((Sin(RadLat)) ^ 2))
A = (RadLong - RadRefLong) * Cos(RadLat)
T = Tan(RadLat) ^ 2
C = (Eccentricity ^ 2) / (1 - (Eccentricity ^ 2)) * (Cos(RadLat) ^ 2)
S = ((1 - (Eccentricity ^ 2) / 4 - (3 * (Eccentricity ^ 3)) / 64 - (5 * (Eccentricity ^ 6)) / 256) * RadLat) - _
    ((3 * (Eccentricity ^ 2)) / 8 + (3 * (Eccentricity ^ 4)) / 32 + (45 * (Eccentricity ^ 6)) / 1024) * _
    Sin(2 * RadLat)) + (((15 * (Eccentricity ^ 4)) / 256 + (45 * (Eccentricity ^ 6)) / 1024) * _
    Sin(4 * RadLat)) - (((35 * (Eccentricity ^ 6)) / 3072) * Sin(6 * RadLat))

EUTM = E0 + (k0 * RayonTerre * V * (A + ((1 - T + C) * (A ^ 3) / 6) + ((5 - 18 * T + T ^ 2) * (A ^ 5) / 120)))
NUTM = N0 + (k0 * RayonTerre * (S + V * Tan(RadLat) * ((A ^ 2) / 2 + (5 - T + 9 * C + 4 * (C ^ 2)) * _
    (A ^ 4) / 24 + (61 - 58 * T + (T ^ 2)) * (A ^ 6) / 720)))

End Function
```

Figure A.1 - Transfert de coordonnées (X,Y) en (N,E) UTM 18 – VBA

ANNEXE B – Distance moyenne et nombre d'occurrences des déplacements selon le secteur municipal de départ

Tableau B.1 - Distance moyenne et nombre d'occurrences des déplacements selon le secteur municipal de départ

Rang	Secteur Municipal	Distance Moyenne (km)	Nombre d'occurrences
1	St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	23,11	405
2	Mirabel	20,53	125
3	Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	19,93	108
4	Saint-Jérôme	18,01	261
5	Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	17,56	103
6	Saint-Jean-sur-Richelieu	16,25	201
7	Salaberry-de-Valleyfield	16,19	109
8	Repentigny, Charlemagne	15,91	362
9	Sainte-Thérèse	15,41	137
10	Mascouche	14,88	107
11	Terrebonne: Terrebonne (ex-municipalité)	14,54	170
12	Saint-Eustache	13,79	148
13	Terrebonne: Lachenaie	13,72	103
14	Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	13,31	177
15	Châteauguay	13,24	193
16	Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	12,21	136
17	Laval: Saint-François	11,87	102
18	Montréal: Pierrefonds	9,97	246
19	Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	9,73	143
20	Laval: Sainte-Rose, Fabreville	9,63	244
21	Laval: Vimont, Auteuil	9,48	160
22	Dorval, Ile-Dorval	9,20	616
23	Montréal: Pointe-aux-Trembles	9,09	368
24	Montréal: Rivière-des-Prairies	9,00	314
25	Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	7,49	159
26	Pointe-Claire	7,36	345
27	Boucherville	7,36	795
28	Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	7,15	219
29	Dollard-Des Ormeaux	6,90	173

Tableau B.1 - Distance moyenne et nombre d'occurrences des déplacements selon le secteur municipal de départ (suite et fin)

30	Saint-Bruno-de-Montarville	6,74	328
31	Laval: Chomedey	6,48	718
32	Brossard	6,31	854
33	Longueuil: Saint-Hubert	5,95	409
34	Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	5,47	1266
35	Montréal: Mercier	5,38	1902
36	Montréal:Montréal-Nord	5,33	851
37	Longueuil: Longueuil Est	5,28	704
38	Longueuil:Greenfield Park	5,23	309
39	Longueuil: De Lyon	4,98	162
40	Montréal: Saint-Laurent	4,94	2811
41	Montréal: Anjou	4,76	1193
42	Montréal: Verdun	4,64	2516
43	Longueuil: Vieux-Longueuil	4,63	925
44	Saint-Lambert	4,49	642
45	Montréal: Centre-Ville	4,47	2509
46	Montréal: Centre-Ville périphérique	4,43	5309
47	Montréal: Sud-Ouest	4,24	3864
48	Montréal: Côte-des-Neiges	4,23	5280
49	Montréal: Lachine	4,04	1043
50	Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	4,02	3424
51	Montréal: Sud-Est	4,00	5862
52	Montréal: LaSalle	4,00	2217
53	Montréal: Saint-Léonard	3,99	1701
54	Westmount	3,92	805
55	Montréal-Ouest	3,86	187
56	Montréal: Villeray	3,76	14419
57	Montréal: Plateau Mont-Royal	3,76	18758
58	Montréal: Ahuntsic	3,73	8047
59	Montréal: Saint-Michel	3,70	2312
60	Côte-Saint-Luc	3,62	285
61	Montréal: Rosemont	3,55	8704
62	Montréal: Outremont	3,26	1003
63	Mont-Royal	3,17	2168

ANNEXE C – Distance moyenne, occurrence et proportion des déplacements internes par secteur municipal

Tableau C.1 - Distance moyenne, occurrence et proportion des déplacements internes par secteur municipal

Secteur Municipal	Distance moyenne de déplacements internes (km)	Nombre de déplacements internes	Nombre de déplacements avec SM d'origine	Proportion de déplacements internes
Montréal: Outremont	0,06	206	1003	20.5%
Montréal: Lachine	0,092	568	1043	54.5%
Westmount	0,877	141	805	17.5%
Laval: Chomedey	0,879	148	718	20.6%
Mont-Royal	0,916	578	2168	26.7%
Montréal: Saint-Léonard	0,99	434	1701	25.5%
Montréal: Anjou	1,078	339	1193	28.4%
Montréal: Saint-Michel	1,126	517	2312	22.4%
Montréal: Centre-Ville	1,189	398	2509	15.9%
Montréal: LaSalle	1,194	1112	2217	50.2%
Montréal: Rosemont	1,206	3485	8704	40.0%
Montréal: Sud-Est	1,21	2517	5862	42.9%
Montréal: Sud-Ouest	1,266	1490	3864	38.6%
Longueuil: Longueuil Est	1,314	214	704	30.4%
Montréal: Villieray	1,323	6477	14419	44.9%
Montréal: Ahuntsic	1,367	4062	8047	50.5%
Montréal: Verdun	1,386	1070	2516	42.5%
Montréal: Plateau Mont-Royal	1,427	8252	18758	44.0%
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	1,473	1658	3424	48.4%
Montréal:Montréal-Nord	1,556	257	851	30.2%
Montréal: Saint-Laurent	1,57	1194	2811	42.5%
Saint-Jérôme	1,621	107	261	41.0%
Longueuil: Vieux-Longueuil	1,635	284	925	30.7%
Brossard	1,693	278	854	32.6%
Montréal: Côte-des-Neiges	1,709	2100	5280	39.8%
Montréal: Pointe-aux-Trembles	1,754	134	368	36.4%
Saint-Lambert	1,759	215	652	33.0%
Montréal: Centre-Ville périphérique	1,785	1209	5309	22.8%
Boucherville	1,81	292	795	36.7%
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	1,918	464	1266	36.7%

Tableau C.1 - Distance moyenne, occurrence et proportion des déplacements internes par secteur municipal (suite et fin)

Montréal: Mercier	2,05	699	1902	36.8%
Repentigny, Charlemagne	2,307	146	362	40.3%
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe...	4,27	225	405	55.6%

ANNEXE D – Matrice Origine-Destination par secteur municipal

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux

Secteur municipal d'origine suivi des secteurs municipaux de destination	Nombre de déplacements
Montréal: Ahuntsic	8047
Beaconsfield	1
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	4
Blainville	4
Boisbriand	6
Boucherville	12
Brossard	9
Candiac	2
Châteauguay	2
Côte-Saint-Luc	7
Deux-Montagnes	3
Dollard-Des Ormeaux	8
Dorval, Ile-Dorval	15
Hampstead	1
Kirkland	3
La Prairie	2
Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles	3
L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)	5
Laval: Chomedey	86
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	32
Laval: Ouest	4
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	174
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	13
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	24
Laval: Saint-Francois	14
Laval: Vimont, Auteuil	15
Lavaltrie, Lanoraie	8
Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-de-Cascades	2
Longueuil: De Lyon	1
Longueuil: Longueuil Est	7
Longueuil: Saint-Hubert	4
Longueuil: Vieux-Longueuil	7
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	21
Mascouche	6
Mercier, Saint-Isidore	2

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Mirabel	3
Montréal: Ahuntsic	4062
Montréal: Anjou	28
Montréal: Centre-Ville	56
Montréal: Centre-Ville périphérique	111
Montréal: Côte-des-Neiges	186
Montréal: Lachine	5
Montréal: LaSalle	14
Montréal: Mercier	47
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	57
Montréal: Outremont	113
Montréal: Pierrefonds	9
Montréal: Plateau Mont-Royal	607
Montréal: Pointe-aux-Trembles	8
Montréal: Rivière-des-Prairies	14
Montréal: Rosemont	224
Montréal: Roxboro	8
Montréal: Saint-Laurent	259
Montréal: Saint-Léonard	52
Montréal: Saint-Michel	159
Montréal: Saint-Pierre	1
Montréal: Sud-Est	86
Montréal: Sud-Ouest	48
Montréal: Verdun	29
Montréal: Villeray	963
Montréal:l'île-Bizard	2
Montréal:Montréal-Nord	144
Montréal:Sainte-Geneviève	11
Mont-Royal	71
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	3
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	6
Pointe-Claire	7
Repentigny, Chalmagne	31
Rigaud, Pointe-Fortune	3
Rivière-Beaudette, St-Polycarpe, St-Télesphore, St-Zotique, Ste-Justine-de-Newton, Ste-Marthe, Très-Saint-Rédempteur	3
Saint-Amable, Sainte-Julie	2
Saint-Basile-le-Grand	1
Saint-Bruno-de-Montarville	2
Sainte-Anne-de-Bellevue	3

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Sainte-Anne-des-Plaine	2
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	2
Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	4
Sainte-Thérèse	9
Saint-Eustache	9
Saint-Jean-sur-Richelieu	3
Saint-Jérôme	19
Saint-Lambert	5
Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Roch-Ouest, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Calixte, Sainte-Julienne	2
Salaberry-de-Valleyfield	2
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	9
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	25
Terrebonne: Lachenaie	5
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, Île-Cadieux	1
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	1
Westmount	4
Montréal: Centre-Ville périphérique	5309
Baie-D'Urfé	5
Beaconsfield	10
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	4
Blainville	1
Boisbriand	4
Boucherville	25
Brossard	77
Candiac	1
Carigan, Chambly	1
Châteauguay	50
Côte-Saint-Luc	13
Dollard-Des Ormeaux	18
Dorval, Ile-Dorval	31
Hampstead	1
Hudson, Saint-Lazare	3
Kahnawake	2
Kirkland	6
La Prairie	1
L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)	2
Laval: Chomedey	27
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	2

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Laval: Ouest	1
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	15
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	1
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	13
Laval: Saint-Francois	1
Laval: Vimont, Auteuil	5
Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-de-Cascades	2
Longueuil: De Lyon	4
Longueuil: Lemoyne	1
Longueuil: Longueuil Est	28
Longueuil: Saint-Hubert	9
Longueuil: Vieux-Longueuil	25
Longueuil: Greenfield Park	10
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	3
Mascouche	1
Mercier, Saint-Isidore	1
Mirabel	4
Montréal: Ahuntsic	139
Montréal: Anjou	10
Montréal: Centre-Ville	318
Montréal: Centre-Ville périphérique	1209
Montréal: Côte-des-Neiges	226
Montréal: Lachine	54
Montréal: LaSalle	43
Montréal: Mercier	34
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	120
Montréal: Outremont	24
Montréal: Pierrefonds	11
Montréal: Plateau Mont-Royal	1032
Montréal: Pointe-aux-Trembles	11
Montréal: Rivière-des-Prairies	3
Montréal: Rosemont	220
Montréal: Roxboro	3
Montréal: Saint-Laurent	68
Montréal: Saint-Léonard	23
Montréal: Saint-Michel	51
Montréal: Saint-Pierre	2
Montréal: Sud-Est	225
Montréal: Sud-Ouest	285
Montréal: Verdun	79

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Montréal: Villeray	400
Montréal:l'île-Bizard	2
Montréal:Montréal-Nord	18
Montréal:Sainte-Genève	2
Montréal-Ouest	4
Mont-Royal	69
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	3
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	6
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	2
Pointe-Claire	17
Repentigny, Chalremagne	5
Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu	1
Rigaud, Pointe-Fortune	3
Rivière-Beaudette, St-Polycarpe, St-Télesphore, St-Zotique, Ste-Justine-de-Newton, Ste-Marthe, Très-Saint-Rédempteur	1
Saint-Amable, Sainte-Julie	4
Saint-Basile-le-Grand	1
Saint-Bruno-de-Montarville	8
Saint-Charles-sur-Richelieu, Saint-Marc-sur-Richelieu, Saint-Antoine-sur-Richelieu, Saint-Denis-sur-Richelieu	2
Saint-Colomban	1
Sainte-Anne-de-Bellevue	1
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	4
Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	1
Sainte-Thérèse	1
Saint-Eustache	5
Saint-Jean-sur-Richelieu	10
Saint-Jérôme	5
Saint-Lambert	33
Salaberry-de-Valleyfield	4
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard,Ste-Anne-des-Lacs,Wentworth-Nord,Lac-des-Seizes-îles	3
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	1
Terrebonne: Lachenaie	1
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, Lîle-Cadieux	6
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	4
Westmount	83
Montréal: Plateau Mont-Royal	18758
Baie-D'Urfé	2
Beaconsfield	7

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Beauharnois	4
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	25
Blainville	12
Boisbriand	6
Boucherville	105
Brossard	87
Candiac	12
Carigan, Chambly	17
Châteauguay	13
Côte-Saint-Luc	30
Deux-Montagnes	5
Dollard-Des Ormeaux	21
Dorval, Ile-Dorval	162
Hampstead	9
Hudson, Saint-Lazare	4
Kahnawake	3
Kirkland	7
La Prairie	9
Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles	7
L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)	10
Laval: Chomedey	46
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	23
Laval: Ouest	14
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	91
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	10
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	35
Laval: Saint-Francois	6
Laval: Vimont, Auteuil	33
Lavaltrie, Lanoraie	2
Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-de-Cascades	1
Longueuil: De Lyon	19
Longueuil: Lemoyne	1
Longueuil: Longueuil Est	63
Longueuil: Saint-Hubert	66
Longueuil: Vieux-Longueuil	85
Longueuil:Greenfield Park	19
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	18
Mascouche	17
Mercier, Saint-Isidore	6

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Mirabel	21
Montréal: Ahuntsic	572
Montréal: Anjou	83
Montréal: Centre-Ville	512
Montréal: Centre-Ville périphérique	1047
Montréal: Côte-des-Neiges	567
Montréal: Lachine	31
Montréal: LaSalle	78
Montréal: Mercier	165
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	224
Montréal: Outremont	121
Montréal: Pierrefonds	30
Montréal: Plateau Mont-Royal	8252
Montréal: Pointe-aux-Trembles	24
Montréal: Rivière-des-Prairies	31
Montréal: Rosemont	1208
Montréal: Roxboro	2
Montréal: Saint-Laurent	248
Montréal: Saint-Léonard	131
Montréal: Saint-Michel	209
Montréal: Saint-Pierre	9
Montréal: Sud-Est	667
Montréal: Sud-Ouest	312
Montréal: Verdun	114
Montréal: Villeray	1784
Montréal: l'île-Bizard	9
Montréal: Montréal-Nord	77
Montréal: Sainte-Geneviève	4
Montréal-Est	2
Montréal-Ouest	16
Mont-Royal	490
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	25
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	5
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	11
Pointe-Claire	31
Repentigny, Chalremagne	17
Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu	5
Rigaud, Pointe-Fortune	10
Rivière-Beaudette, St-Polycarpe, St-Télesphore, St-Zotique, Ste-Justine-de-Newton, Ste-Marthe, Très-Saint-Rédempteur	1

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Saint-Amable, Sainte-Julie	10
Saint-Basile-le-Grand	14
Saint-Bruno-de-Montarville	53
Saint-Charles-sur-Richelieu, Saint-Marc-sur-Richelieu, Saint-Antoine-sur-Richelieu, Saint-Denis-sur-Richelieu	2
Saint-Colomban	1
Sainte-Anne-de-Bellevue	25
Sainte-Anne-des-Plaine	6
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	9
Saint-Édouard, Saint-Michel, Saint-Rémi, Saint-Patrice-de-Sherrington, Saint-Jacques-le-Mineur	4
Sainte-Martine, Saint-Urbain-Premier	8
Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	9
Sainte-Thérèse	16
Saint-Étienne-de-Beauharnois, Saint-Louis-de-Gonzague, Saint-Stanislas-de-Kostka	1
Saint-Eustache	6
Saint-Jean-sur-Richelieu	21
Saint-Jérôme	20
Saint-Lambert	78
Saint-Philippe, Saint-Mathieu	1
Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Roch-Ouest, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Calixte, Sainte-Julienne	5
Salaberry-de-Valleyfield	8
Senneville	2
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	49
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	16
Terrebonne: Lachenaie	12
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, Île-Cadieux	10
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	9
Westmount	106
Montréal: Rosemont	8704
Baie-D'Urfé	1
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	6
Blainville	3
Boisbriand	6
Boucherville	43
Brossard	16
Candiac	2
Carigan, Chambly	4
Châteauguay	3

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Côte-Saint-Luc	3
Deux-Montagnes	2
Dollard-Des Ormeaux	6
Dorval, Ile-Dorval	19
Hampstead	1
Hudson, Saint-Lazare	2
Kahnawake	1
La Prairie	5
Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles	5
L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)	10
Laval: Chomedey	25
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	11
Laval: Ouest	6
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	50
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	4
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	7
Laval: Saint-Francois	3
Laval: Vimont, Auteuil	11
Lavaltrie, Lanoraie	4
Longueuil: De Lyon	4
Longueuil: Longueuil Est	56
Longueuil: Saint-Hubert	11
Longueuil: Vieux-Longueuil	24
Longueuil:Greenfield Park	9
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	7
Mascouche	7
Mercier, Saint-Isidore	1
Mirabel	8
Montréal: Ahuntsic	242
Montréal: Anjou	127
Montréal: Centre-Ville	113
Montréal: Centre-Ville périphérique	210
Montréal: Côte-des-Neiges	110
Montréal: Lachine	6
Montréal: LaSalle	19
Montréal: Mercier	185
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	56
Montréal: Outremont	22
Montréal: Pierrefonds	5

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Montréal: Plateau Mont-Royal	1199
Montréal: Pointe-aux-Trembles	11
Montréal: Rivière-des-Prairies	22
Montréal: Rosemont	3485
Montréal: Saint-Laurent	55
Montréal: Saint-Léonard	252
Montréal: Saint-Michel	279
Montréal: Sud-Est	706
Montréal: Sud-Ouest	52
Montréal: Verdun	25
Montréal: Villeray	803
Montréal: l'île-Bizard	1
Montréal: Montréal-Nord	53
Montréal: Sainte-Geneviève	1
Montréal-Est	3
Mont-Royal	70
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	8
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	4
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	7
Pointe-Claire	7
Repentigny, Chalmagne	16
Rigaud, Pointe-Fortune	3
Rivière-Beaudette, St-Polycarpe, St-Télesphore, St-Zotique, Ste-Justine-de-Newton, Ste-Marthe, Très-Saint-Rédempteur	1
Saint-Amable, Sainte-Julie	14
Saint-Basile-le-Grand	1
Saint-Bruno-de-Montarville	20
Saint-Charles-sur-Richelieu, Saint-Marc-sur-Richelieu, Saint-Antoine-sur-Richelieu, Saint-Denis-sur-Richelieu	1
Sainte-Anne-des-Plaines	17
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	5
Saint-Édouard, Saint-Michel, Saint-Rémi, Saint-Patrice-de-Sherrington, Saint-Jacques-le-Mineur	2
Sainte-Thérèse	7
Saint-Eustache	13
Saint-Jean-sur-Richelieu	5
Saint-Jérôme	10
Saint-Lambert	12
Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Roch-Ouest, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Calixte, Sainte-Julienne	2
Salaberry-de-Valleyfield	7

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	7
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	10
Terrebonne: Lachenaie	7
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, Île-Cadieux	4
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	4
Westmount	12
Montréal: Saint-Laurent	2811
Baie-D'Urfé	1
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	2
Blainville	2
Boisbriand	1
Boucherville	2
Brossard	3
Châteauguay	1
Côte-Saint-Luc	5
Deux-Montagnes	3
Dollard-Des Ormeaux	8
Dorval, Ile-Dorval	27
Hudson, Saint-Lazare	1
Kirkland	10
Laval: Chomedey	31
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	1
Laval: Ouest	1
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	19
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	3
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	3
Laval: Saint-Francois	1
Laval: Vimont, Auteuil	1
Lavaltrie, Lanoraie	1
Longueuil: Longueuil Est	2
Longueuil: Vieux-Longueuil	1
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	4
Montréal: Ahuntsic	300
Montréal: Anjou	3
Montréal: Centre-Ville	32
Montréal: Centre-Ville périphérique	61
Montréal: Côte-des-Neiges	160
Montréal: Lachine	6
Montréal: LaSalle	17

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Montréal: Mercier	4
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	68
Montréal: Outremont	52
Montréal: Pierrefonds	6
Montréal: Plateau Mont-Royal	232
Montréal: Pointe-aux-Trembles	1
Montréal: Rivière-des-Prairies	1
Montréal: Rosemont	56
Montréal: Saint-Laurent	1194
Montréal: Saint-Léonard	4
Montréal: Saint-Michel	23
Montréal: Sud-Est	30
Montréal: Sud-Ouest	40
Montréal: Verdun	33
Montréal: Villeray	236
Montréal: l'île-Bizard	1
Montréal: Montréal-Nord	8
Montréal: Sainte-Geneviève	1
Montréal-Ouest	2
Mont-Royal	31
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	3
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	2
Pointe-Claire	15
Repentigny, Châteauguay	15
Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu	1
Rigaud, Pointe-Fortune	1
Sainte-Martine, Saint-Urbain-Premier	3
Saint-Eustache	5
Salaberry-de-Valleyfield	1
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	5
Terrebonne: Terrebonne (ex-municipalité)	2
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, L'île-Cadieux	1
Westmount	21
Montréal: Sud-Est	5862
Beauharnois	2
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	7
Blainville	3
Boisbriand	1
Boucherville	46

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Brossard	19
Candiac	3
Carigan, Chambly	5
Châteauguay	7
Côte-Saint-Luc	2
Deux-Montagnes	3
Dollard-Des Ormeaux	2
Dorval, Ile-Dorval	14
Hudson, Saint-Lazare	3
Kahnawake	1
Kirkland	2
La Prairie	6
L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)	3
Laval: Chomedey	5
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	6
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	19
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	4
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	7
Laval: Saint-Francois	2
Laval: Vimont, Auteuil	5
Lavaltrie, Lanoraie	3
Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-de-Cascades	1
Longueuil: De Lyon	3
Longueuil: Lemoyne	2
Longueuil: Longueuil Est	39
Longueuil: Saint-Hubert	15
Longueuil: Vieux-Longueuil	34
Longueuil:Greenfield Park	18
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	12
Mascouche	4
Mirabel	4
Montréal: Ahuntsic	99
Montréal: Anjou	80
Montréal: Centre-Ville	98
Montréal: Centre-Ville périphérique	223
Montréal: Côte-des-Neiges	63
Montréal: Lachine	13
Montréal: LaSalle	50
Montréal: Mercier	158
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	39

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Montréal: Outremont	12
Montréal: Pierrefonds	2
Montréal: Plateau Mont-Royal	709
Montréal: Pointe-aux-Trembles	42
Montréal: Rivière-des-Prairies	19
Montréal: Rosemont	628
Montréal: Saint-Laurent	31
Montréal: Saint-Léonard	87
Montréal: Saint-Michel	51
Montréal: Sud-Est	2517
Montréal: Sud-Ouest	101
Montréal: Verdun	34
Montréal: Villeray	293
Montréal: l'île-Bizard	1
Montréal: Montréal-Nord	24
Montréal-Est	6
Mont-Royal	26
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	5
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pin court, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	3
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	7
Pointe-Claire	3
Repentigny, Chalremagne	14
Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu	2
Rigaud, Pointe-Fortune	1
Saint-Amable, Sainte-Julie	6
Saint-Basile-le-Grand	3
Saint-Bruno-de-Montarville	14
Sainte-Anne-de-Bellevue	2
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	4
Saint-Édouard, Saint-Michel, Saint-Rémi, Saint-Patrice-de-Sherrington, Saint-Jacques-le-Mineur	1
Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	3
Sainte-Thérèse	9
Saint-Étienne-de-Beauharnois, Saint-Louis-de-Gonzague, Saint-Stanislas-de-Kostka	2
Saint-Eustache	2
Saint-Jean-sur-Richelieu	8
Saint-Jérôme	6
Saint-Lambert	12
Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Roch-Ouest, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Calixte, Sainte-Julienne	2

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Salaberry-de-Valleyfield	6
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	2
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	4
Terrebonne: Lachenaie	3
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, Île-Cadieux	3
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	3
Westmount	14
Montréal: Sud-Ouest	3864
Baie-D'Urfé	1
Beaconsfield	3
Beauharnois	1
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	2
Blainville	3
Boisbriand	2
Boucherville	14
Brossard	36
Candiac	2
Châteauguay	5
Côte-Saint-Luc	8
Dollard-Des Ormeaux	6
Dorval, Ile-Dorval	14
Hudson, Saint-Lazare	1
Kahnawake	2
Kirkland	6
La Prairie	4
Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles	1
L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)	1
Laval: Chomedey	9
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	4
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	8
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	1
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	2
Laval: Vimont, Auteuil	2
Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-de-Cascades	1
Longueuil: De Lyon	5
Longueuil: Longueuil Est	14
Longueuil: Saint-Hubert	12
Longueuil: Vieux-Longueuil	10
Longueuil: Greenfield Park	5

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	2
Mascouche	10
Mercier, Saint-Isidore	1
Mirabel	2
Montréal: Ahuntsic	40
Montréal: Anjou	3
Montréal: Centre-Ville	159
Montréal: Centre-Ville périphérique	286
Montréal: Côte-des-Neiges	79
Montréal: Lachine	28
Montréal: LaSalle	181
Montréal: Mercier	20
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	146
Montréal: Outremont	10
Montréal: Pierrefonds	14
Montréal: Plateau Mont-Royal	326
Montréal: Pointe-aux-Trembles	2
Montréal: Rivière-des-Prairies	3
Montréal: Rosemont	66
Montréal: Saint-Laurent	31
Montréal: Saint-Léonard	8
Montréal: Saint-Michel	21
Montréal: Saint-Pierre	2
Montréal: Sud-Est	86
Montréal: Sud-Ouest	1490
Montréal: Verdun	297
Montréal: Villeray	108
Montréal:Montréal-Nord	5
Montréal-Ouest	14
Mont-Royal	44
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	4
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	1
Pointe-Claire	9
Repentigny, Chalmagne	12
Rigaud, Pointe-Fortune	2
Saint-Amable, Sainte-Julie	3
Saint-Bruno-de-Montarville	5
Saint-Charles-sur-Richelieu, Saint-Marc-sur-Richelieu, Saint-Antoine-sur-Richelieu, Saint-Denis-sur-Richelieu	1
Sainte-Anne-des-Plaines	1
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	5

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Sainte-Martine, Saint-Urbain-Premier	5
Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	1
Sainte-Thérèse	3
Saint-Eustache	2
Saint-Jean-sur-Richelieu	4
Saint-Jérôme	4
Saint-Lambert	21
Salaberry-de-Valleyfield	3
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	4
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	1
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, Île-Cadieux	4
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	1
Westmount	99
Montréal: Villeray	14419
Baie-D'Urfé	2
Beaconsfield	8
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	17
Blainville	15
Boisbriand	7
Boucherville	34
Brossard	40
Candiac	6
Carigan, Chambly	9
Châteauguay	2
Côte-Saint-Luc	13
Deux-Montagnes	6
Dollard-Des Ormeaux	10
Dorval, Ile-Dorval	66
Hampstead	2
Hudson, Saint-Lazare	1
Kahnawake	2
Kirkland	5
La Prairie	7
Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles	8
L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)	8
Laval: Chomedey	77
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	32
Laval: Ouest	6
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	116

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	13
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	30
Laval: Saint-François	5
Laval: Vimont, Auteuil	23
Lavaltrie, Lanoraie	6
Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-de-Cascades	3
Longueuil: De Lyon	14
Longueuil: Lemoyne	1
Longueuil: Longueuil Est	48
Longueuil: Saint-Hubert	37
Longueuil: Vieux-Longueuil	28
Longueuil: Greenfield Park	14
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	30
Mascouche	5
Mercier, Saint-Isidore	7
Mirabel	13
Montréal: Ahuntsic	957
Montréal: Anjou	74
Montréal: Centre-Ville	208
Montréal: Centre-Ville périphérique	398
Montréal: Côte-des-Neiges	374
Montréal: Lachine	26
Montréal: LaSalle	28
Montréal: Mercier	86
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	65
Montréal: Outremont	130
Montréal: Pierrefonds	41
Montréal: Plateau Mont-Royal	1798
Montréal: Pointe-aux-Trembles	34
Montréal: Rivière-des-Prairies	72
Montréal: Rosemont	783
Montréal: Roxboro	2
Montréal: Saint-Laurent	240
Montréal: Saint-Léonard	168
Montréal: Saint-Michel	478
Montréal: Sud-Est	329
Montréal: Sud-Ouest	99
Montréal: Verdun	78
Montréal: Villeray	6477
Montréal: l'Île-Bizard	3

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Montréal:Montréal-Nord	69
Montréal:Sainte-Geneviève	6
Montréal-Est	3
Montréal-Ouest	1
Mont-Royal	201
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	12
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	11
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	11
Pointe-Claire	16
Repentigny, Chalremagne	30
Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu	2
Rigaud, Pointe-Fortune	5
Rivière-Beaudette, St-Polycarpe, St-Télesphore, St-Zotique, Ste-Justine-de-Newton, Ste-Marthe, Très-Saint-Rédempteur	3
Saint-Amable, Sainte-Julie	7
Saint-Basile-le-Grand	8
Saint-Bruno-de-Montarville	28
Saint-Charles-sur-Richelieu, Saint-Marc-sur-Richelieu, Saint-Antoine-sur-Richelieu, Saint-Denis-sur-Richelieu	8
Sainte-Anne-de-Bellevue	7
Sainte-Anne-des-Plaine	3
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	8
Saint-Édouard, Saint-Michel, Saint-Rémi, Saint-Patrice-de-Sherrington, Saint-Jacques-le-Mineur	2
Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	16
Sainte-Thérèse	15
Saint-Eustache	20
Saint-Jean-sur-Richelieu	23
Saint-Jérôme	30
Saint-Lambert	25
Saint-Philippe, Saint-Mathieu	1
Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Roch-Ouest, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Calixte, Sainte-Julienne	3
Salaberry-de-Valleyfield	4
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard,Ste-Anne-des-Lacs,Wentworth-Nord,Lac-des-Seizes-îles	34
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	19
Terrebonne: Lachenaie	11
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, L'île-Cadieux	7
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	28
Westmount	18

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Montréal: Côte-des-Neiges	5280
Baie-D'Urfé	3
Beaconsfield	5
Beauharnois	5
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	2
Boisbriand	3
Boucherville	4
Brossard	20
Candiac	2
Carigan, Chambly	4
Châteauguay	13
Côte-Saint-Luc	51
Dollard-Des Ormeaux	11
Dorval, Ile-Dorval	37
Hampstead	10
Hudson, Saint-Lazare	3
Kirkland	1
La Prairie	2
Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles	5
Laval: Chomedey	32
Laval: Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	3
Laval: Ouest	1
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	40
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	13
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	4
Laval: Vimont, Auteuil	4
Lavaltrie, Lanoraie	1
Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-de-Cascades	2
Longueuil: De Lyon	4
Longueuil: Lemoyne	1
Longueuil: Longueuil Est	6
Longueuil: Saint-Hubert	9
Longueuil: Vieux-Longueuil	6
Longueuil: Greenfield Park	6
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	2
Mercier, Saint-Isidore	1
Mirabel	10
Montréal: Ahuntsic	172
Montréal: Anjou	10
Montréal: Centre-Ville	126

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Montréal: Centre-Ville périphérique	217
Montréal: Côte-des-Neiges	2100
Montréal: Lachine	21
Montréal: LaSalle	33
Montréal: Mercier	17
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	234
Montréal: Outremont	104
Montréal: Pierrefonds	7
Montréal: Plateau Mont-Royal	583
Montréal: Pointe-aux-Trembles	7
Montréal: Rivière-des-Prairies	10
Montréal: Rosemont	95
Montréal: Roxboro	4
Montréal: Saint-Laurent	165
Montréal: Saint-Léonard	42
Montréal: Saint-Michel	19
Montréal: Saint-Pierre	1
Montréal: Sud-Est	70
Montréal: Sud-Ouest	100
Montréal: Verdun	49
Montréal: Villeray	354
Montréal: l'île-Bizard	2
Montréal: Montréal-Nord	10
Montréal-Est	2
Montréal-Ouest	13
Mont-Royal	230
Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste	5
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	3
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	2
Pointe-Claire	14
Repentigny, Chalmagne	4
Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu	1
Rigaud, Pointe-Fortune	5
Saint-Amable, Sainte-Julie	1
Saint-Basile-le-Grand	1
Saint-Bruno-de-Montarville	3
Sainte-Anne-de-Bellevue	4
Sainte-Anne-des-Plaines	1
Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson	2
Saint-Édouard, Saint-Michel, Saint-Rémi, Saint-Patrice-de-Sherrington, Saint-Jacques-le-Mineur	3

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	1
Sainte-Thérèse	1
Saint-Eustache	4
Saint-Jean-sur-Richelieu	6
Saint-Jérôme	4
Saint-Lambert	6
Salaberry-de-Valleyfield	2
St-Sauveur, Piedmont, Ste-Adèle, Morin-Heights, St-Adolphe-d'Howard, Ste-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seizes-îles	5
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	5
Terrebonne: La Plaine	1
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, Île-Cadieux	1
Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur	2
Westmount	70
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	3424
Baie-D'Urfé	1
Beaconsfield	4
Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville	1
Boucherville	3
Brossard	10
Candiac	1
Carigan, Chambly	1
Châteauguay	11
Côte-Saint-Luc	58
Dollard-Des Ormeaux	7
Dorval, Ile-Dorval	35
Hampstead	12
Kahnawake	1
Kirkland	7
La Prairie	3
Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles	1
Laval: Chomedey	9
Laval: Pont-Viau, Laval-des-Rapides	2
Laval: Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-lac	2
Laval: Sainte-Rose, Fabreville	4
Laval: Saint-Francois	1
Laval: Vimont, Auteuil	1
Longueuil: De Lyon	2
Longueuil: Longueuil Est	4
Longueuil: Saint-Hubert	15

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite)

Longueuil: Vieux-Longueuil	5
Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère	1
Mascouche	1
Mercier, Saint-Isidore	1
Mirabel	3
Montréal: Ahuntsic	41
Montréal: Anjou	3
Montréal: Centre-Ville	57
Montréal: Centre-Ville périphérique	143
Montréal: Côte-des-Neiges	262
Montréal: Lachine	35
Montréal: LaSalle	94
Montréal: Mercier	9
Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	1658
Montréal: Outremont	19
Montréal: Pierrefonds	7
Montréal: Plateau Mont-Royal	214
Montréal: Pointe-aux-Trembles	1
Montréal: Rivière-des-Prairies	4
Montréal: Rosemont	60
Montréal: Roxboro	1
Montréal: Saint-Laurent	67
Montréal: Saint-Léonard	2
Montréal: Saint-Michel	8
Montréal: Saint-Pierre	4
Montréal: Sud-Est	31
Montréal: Sud-Ouest	139
Montréal: Verdun	46
Montréal: Villeray	66
Montréal: l'île-Bizard	3
Montréal: Montréal-Nord	3
Montréal: Sainte-Geneviève	2
Montréal-Ouest	62
Mont-Royal	36
Notre-Dame-de-l'île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'île-Perrot	7
Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide	1
Pointe-Claire	34
Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu	2
Saint-Basile-le-Grand	2
Saint-Bruno-de-Montarville	2

Tableau D.1 - Matrice Origine-Destination pour les dix principaux secteurs municipaux (suite et fin)

Sainte-Anne-de-Bellevue	1
Saint-Édouard, Saint-Michel, Saint-Rémi, Saint-Patrice-de-Sherrington, Saint-Jacques-le-Mineur	1
Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte	3
Sainte-Thérèse	1
Saint-Eustache	1
Saint-Jean-sur-Richelieu	7
Saint-Jérôme	6
Saint-Lambert	2
Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Roch-Ouest, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Calixte, Sainte-Julienne	2
Terrbonne: Terrebonne (ex-municipalité)	2
Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, L'Île-Cadieux	1
Westmount	65